

# O Projeto CoastColour: novos produtos MERIS e sua validação com dados do Estuário do Tejo

Elisabete Maria de Almeida Mota

Mestrado em Sistemas de Informação Geográfica

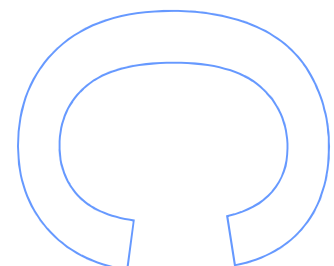
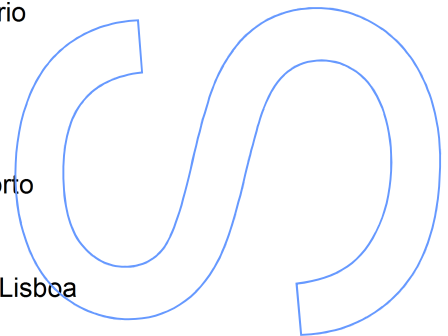
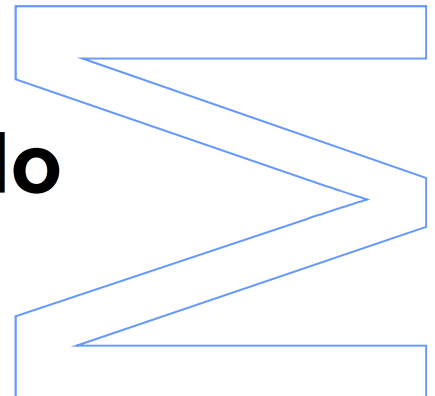
Departamento de Geociências, Ambiente e Ordenamento do Território  
2012

## **Orientador**

José Carlos Pinto Bastos Teixeira da Silva,  
Professor Associado, Faculdade de Ciências da Universidade do Porto

## **Coorientadora**

Vanda Costa Brotas Gonçalves,  
Professora Catedrática, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa







Elisabete Maria de Almeida Mota

# **O Projeto CoastColour: novos produtos MERIS e sua validação com dados do Estuário do Tejo**

**Orientador:** José Carlos Pinto Bastos Teixeira da Silva,

( Professor Associado, DGAOT, Faculdade de Ciências da Universidade do Porto )

**Coorientadora:** Vanda Costa Brotas Gonçalves,

( Professora Catedrática, Centro Oceanográfico, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa )

Tese submetida para obtenção do grau de Mestre em Sistemas de Informação Geográfica

**Faculdade de Ciências da Universidade do Porto**

Departamento de Geociências, Ambiente  
e Ordenamento do Território



novembro, 2012



## DEDICATÓRIA

A todos que, desde a minha primeira inscrição em 2006 no Mestrado em Detecção Remota na FCUP, me acompanharam, ao nível da formação profissional e mesmo a nível pessoal:

**professores,**

**colegas de mestrado(s),**

colegas dos projetos em que, entretanto, estive envolvida:

**Energia Eólica e CEsa** – Piso 2 do INEGI/FEUP,

**MORWAK** – LIAAD/INESC em dCC na FCUP,

e **CoastColour** – salas 227 e 339 do **DGAOT/DF** na FCUP, **CO** na FCUL e

Piso 1 do **PML**, em Plymouth (UK);

e

equipa da **Escola de Hidrografia e Oceanografia** do IH

aos **amigos** que acreditaram em mim / comigo,

à **Biana** (desculpa pela ausência...),

ao meu **mano preferido**,

mas principalmente à minha **mãe** que quase, quase desistia... ☺

**OBRIGADA!**



# AGRADECIMENTOS

Uma GRATIFICAÇÃO **MUITO ESPECIAL**:

ao professor **José da Silva** por (também) ter confiado em mim para o projeto do CoastColour, por me ter dado apoio durante o decorrer do projeto e no processo de elaboração da tese;

à professora **Vanda Brotas**, coordenadora do projeto CoasColour em Portugal, pelo apoio, pela orientação, pelas oportunidades de deslocação à ESRIN (ESA – Frascati, Itália) e ao centro de investigação PML - Plymouth Marine Laboratory (Plymouth, Inglaterra) e pelo exemplo de força de vontade em trabalhar nesta área;

to **Steve Groom**, for all the attention, the transmitted wizard and for the good reception / integration at PML;

ao **Instituto Hidrográfico** pelo acolhimento durante os últimos três meses para elaboração da tese e oportunidade de reconhecimento dos locais de validação;

ao **Carlos**, à **Isaura** e ao **João**; à **Carolina**, à **Rebeca** e à **Joana**; ao **João**, ao **Pedro** e à **Cristina** por, literalmente, me terem dado guarida nestes últimos tempos;

e

ao **Paulo**, pelo apoio e ajuda na busca de inspiração e força para terminar esta etapa.



## RESUMO

O Projeto CoastColour (PCC) teve/tem o objetivo de aprimorar os modelos aplicados às imagens de satélite MERIS, para a obtenção de valores mais precisos de concentração de Clorofila-a (Chl-a) e de Partículas em Suspensão (TSM) sobre a água, em particular sobre as zonas costeiras. À equipa Portuguesa envolvida no PCC, o Centro de Oceanografia (CO), coube a) a organização inicial de uma base de dados de produtos sobre a água (BD\_PCC, recolhidos *in-situ*, e que dará origem à futura base de dados *matchup* do Projeto, para validação) e a sua análise; b) e a validação dos resultados do novo processamento. A tarefa mais delicada foi a primeira, onde a organização de todos os dados enviados para o projeto, por diferentes utilizadores, foi o processo mais moroso (colocar coordenadas no mesmo sistema, WGS84 decimal, reduzir data e hora ao mesmo sistema, UTC, uniformizar as unidades do mesmo produto, etc.). Posteriormente, procedeu-se à análise e controle de qualidade da base de dados organizada. Para validação dos produtos PCC obtidos, recorreu-se a um conjunto de dados colhidos sobre o Estuário do Tejo, e externo à base de dados do projeto. Foram encontrados os *matchups* entre dados *in-situ* e imagem de satélite e os dados foram então comparados com i) os novos produtos (CCMERIS, CCMEIRS\_QAA e CCMERIS\_FP), ii) com os antigos produtos MERIS ESA (algal\_2), e iii) foram também comparados com os resultados da aplicação de diferentes algoritmos aos novos produtos MERIS (OC2 e OC4, Gons, Nechad e algoritmo de Gilerson). Relativamente aos produtos obtidos pelo modelo PCC, o melhor resultado obtido foi a concentração de TSM, pelo modelo CCMERIS (IRTM-NN), mas com um  $r^2$  de apenas 0,49. Tal facto, baixa correlação, ocorreu também noutras zonas de estudo do PCC, onde os valores reais de TSM (*in-situ*) são elevados e os valores de Chl-a muito baixos. Na estação 4 do Tejo, por exemplo, a média de concentração de TSM desde 1999 está acima dos 26 mg/l, tendo chegado a atingir 48 mg/l; em relação à Chl-a, a média é inferior a 3 mg/m<sup>3</sup>, sendo que os valores máximos ocorreram em 1999 (24 e 12 mg/m<sup>3</sup>). Os diferentes algoritmos aplicados aos produtos PCC acabaram por se mostrar também incapazes de descrever as variáveis em estudo no Tejo e, por isto, levantaram-se duas questões: 1. não existe algoritmo ajustado à zona do Estuário do Tejo devido à sua complexidade ou 2. é necessário melhorar o modelo do PCC.

**Palavras chave:** CoastColour, MERIS, base de dados, TSM, Chl-a, *in-situ*, *matchups*, novos produtos





## ABSTRACT

The main objective of the project CoastColour (PCC) has been the improvement of satellite MERIS models to achieve better estimates of Chlorophyll-a (Chl-a) and Total Suspended Matter (TSM) concentration, in coastal zones. The Portuguese team involved in the Project, the Oceanography Centre (CO – Centro de Oceanografia), has been responsible for a) the organization of a water products data base (BD\_PCC, collected *in-situ*, from which the future matchup validation data base will be taken) and its analysis; and b) the validation of the products resulted from the new processing. The most delicate task was the first one, where the global organization of all the data sent by different users for the project, was the most time consuming process (arrangement of all coordinates in the same system, decimal WGS84, all dates and times in the same system, UTC, standardization of the product units, etc.). After that, an analysis and quality control has been made on the organized data base. For the PCC products validation, we used data collected in the Tagus Estuary, which were not originally included in the projects' data base. Matchups were found between *in-situ* data and satellite images, and the data was compared i) with the new products (CCMERIS, CCMEIRS\_QAA and CCMERIS\_FP), with ii) the old MERIS ESA products (algal\_2), and with iii) the products obtained from the application of different algorithms to the new MERIS products (OC2 and OC4, Gons, Nechad and Gilerson Algorithm). Concerning the products of the PCC model, the best result was the TSM concentration, obtained with the CCMERIS (IRTM-NN) model, but only with a correlation coefficient of 0.49. Low correlations also occurred in other PCC studied areas, where there are high TSM concentrations and low Chl-a concentrations (*in-situ*). In Tagus Station 4, for instance, the TSM concentration average, since 1999, is above 26 mg/l, and reached values of 48 mg/l; concerning Chl-a, there is an average under 3 mg/m<sup>3</sup>, and the maximum concentration values occurred in 1999 (24 and 12 mg/m<sup>3</sup>). The different applied algorithms to the new PCC products are unable to describe the Tagus studied variables. In conclusion, this work revealed that: 1. currently there are no algorithms capable to describe the Tagus Estuary variables, due to the complexity of its water, and 2. further PCC model improvements are required.

**Key words:** CoastColour, MERIS, data base, TSM, Chl-a, *in-situ*, *matchups*, new products



## ÍNDICE

<b>1. Introdução .....</b>	<b>1</b>
1.1. Organização do trabalho.....	2
1.2. Enquadramento Teórico .....	3
1.2.1. Produtos de Imagens de Satélite .....	3
1.2.1.1. A Agência Espacial Europeia e o Satélite ENVISAT .....	3
1.2.1.2. O Sensor MERIS.....	6
1.2.1.2.1. Missão, características e funcionamento .....	6
1.2.1.2.2. Tipo de produtos .....	8
1.2.2. O que se entende por <i>Chlorophyll-a</i> e <i>Total Suspended Matter</i> .....	12
1.2.3. IOPs e AOPs .....	12
1.3. Objetivos do trabalho.....	14
1.3.1. O Projeto CoastColour.....	14
1.3.2. Zonas estuarinas .....	17
<b>2. Metodologia.....</b>	<b>19</b>
2.1. Imagens de Satélite: obtenção, leitura, extração e tratamento de produtos .....	19
2.2. Dados <i>in-situ</i> .....	21
2.2.1. Dados <i>in-situ</i> para o Projeto CoastColour .....	22
2.2.2. Dados <i>in-situ</i> para validação.....	29
2.3. Processamento de imagens MERIS pelo Projeto CoastColour .....	30
2.4. Modelos e Algoritmos para determinar a concentração de Chl-a e TSM a partir de Produtos MERIS .....	32
2.4.1. Modelos MERIS da ESA (MERIS ESA): <i>algal_2</i> e <i>total_susp</i> .....	33
2.4.2. Modelos OC2 e OC4 .....	36
2.4.3. Modelos do Projeto CoastColour: <i>conc_chl</i> e <i>conc_tsm</i> .....	37
2.4.4. Outros Algoritmos .....	38

2.4.4.1. Moses, Gitelson e Gilerson .....	38
2.4.4.2. Gons et al.....	40
2.4.4.3. Nechad e Ruddick.....	43
2.5. Validação dos produtos do Projeto CoastColour.....	45
<b>3. Resultados.....</b>	<b>47</b>
3.1. Dados <i>in-situ</i> para o Projeto CoastColour .....	47
3.2. Dados <i>in-situ</i> para validação.....	50
3.3. Produtos das imagens de satélite .....	52
3.3.3.1. Moses, Gitelson e Gilerson .....	64
3.3.3.2. Gons et al .....	67
3.3.3.3. Nechad e Ruddick.....	70
<b>4. Discussão .....</b>	<b>81</b>
<b>5. Trabalho Futuro.....</b>	<b>85</b>
<b>6. REFERÊNCIAS .....</b>	<b>87</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>91</b>

## LISTA DE ACRÓNIMOS

Algal\_2: produto MERIS processado pela ESA, valor de concentração de Clorofila-a, em zonas costeiras.

BD\_PCC: Base de Dados do Projeto CoastColour.

BDM\_PCC: Base de Dados com *Matchup* do Projeto CoastColour.

CCMERIS: primeiros produtos do PCC, segundo o modelo NN.

CCMERIS\_FP: produtos finais do PCC (disponibilizado em setembro de 2012).

CCMERIS\_QAA: produtos do PCC, segundo o modelo QAA.

Chl-a (ou Chla nos gráficos): Clorofila-a.

CO: Centro de Oceanografia, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa.

Conc\_chl: produto do PCC, valor de concentração de Clorofila-a.

Conc\_tsm: produto do PCC, valor de concentração de matéria particulada em suspensão.

ENVISAT: *ENVironment SATellite*, satellite/missão da ESA, operou entre 2002 e 2012.

ESA: *European Space Agency*, Agência Espacial Europeia.

MERIS: *Medium Resolution Imaging Spectrometer*, sensor a bordo do ENVISAT.

MERIS ESA: produtos MERIS processados pela ESA.

MODIS: *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*.

MSE: *Mean Square Error*, erro quadrático médio.

NN: *Neural Network*, redes neuronais, modelo aplicado para obter concentração de produtos.

PCC: Projeto CoastColour.

PML: Plymouth Marine Laboratory, centro de investigação de Plymouth, Inglaterra.

QAA: *Quasi Analytical Algorithms*, modelo aplicado para obter concentração de produtos.

*r*: coeficiente de correlação de Pearson.

$r^2$ : coeficiente de determinação (quadrado do coeficiente de correlação).

RLw: produto do PCC, refletância (*Water Leaving Radiance Reflectance*).

RMSE: *Root Mean Square Error*, raiz quadrada do erro quadrático médio.

Rrs: *Remote Sensing Reflectance*.

total\_susp: produto MERIS processado pela ESA, valor de concentração de matéria particulada em suspensão.

TSM: *Total Suspended Matter*, matéria particulada em suspensão.

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. Lançamento do Envisat pelo Ariane 5 (esquerda) a 1 de março de 2002; simulação artística do Envisat em órbita (direita) [4].
- Figura 2. Composição do Envisat [4].
- Figura 3. Espectro electromagnético.
- Figura 4. Esquema do funcionamento do sensor MERIS (adaptado de [5], pág.17).
- Figura 5. Localização dos Sites definidos pelo Projeto CoastColour da ESA.
- Figura 6. Estuário do Tejo e sua profundidade [12].
- Figura 7. Ambiente gráfico do programa EOLi (versão 9.1.5).
- Figura 8. Ambiente gráfico do programa BEAM – VISAT (versão 4.10.).
- Figura 9. Site 1 e localização dos pontos com informação na BD\_PCC [13].
- Figura 10. Site 4 e localização dos pontos com informação na BD\_PCC [13].
- Figura 11. Estrutura de uma FerryBox alemã [14] (em cima) e esquema do seu posicionamento a bordo do navio (em baixo).
- Figura 12. Localização das estações de recolha de dados do projeto Valor Sul [12].
- Figura 13. Esquema do Processamento das imagens MERIS pelo PCC [19].
- Figura 14. Geometria dos ângulos de iluminação e observação do sensor MERIS [5].
- Figura 15. Esquema do significado do FLH (adaptado de [28]).





## LISTA DE TABELAS

- Tabela 1. Caracterização das bandas do sensor MERIS.
- Tabela 2. Caracterização dos Sites definidos no Projeto CoastColour da ESA.
- Tabela 3. Resumo do número de dados enviados para o PCC, relativos ao *site* 1 [13].
- Tabela 4. Resumo dos produtos chave enviados para o PCC, relativos ao *site* 1 [13].
- Tabela 5. Resumo das metodologias aplicadas na recolha dos dados enviados para o PCC, relativos ao *site* 1 [13].
- Tabela 6. Resumo do número de dados enviados para o PCC, relativos ao *site* 4 [13].
- Tabela 7. Resumo dos produtos chave enviados para o PCC, relativos ao *site* 4 (adaptado de [13]).
- Tabela 8. Dados de Chl-a, Feopigmentos e TSM recolhidos *in-situ* para o projeto Valor Sul (1999-2011).
- Tabela 9. Disponibilidade de *matchups* para os dados *in-situ* validação.
- Tabela 10. Valores da janela 3 por 3 dos 11 *matchups* de Chl-a da estação 1.
- Tabela 11. Análise entre dados Chl-a *in-situ* e produtos CCMERIS vs modelos OC\_v4 com produtos CCMERIS.
- Tabela 12. Análise entre dados Chl-a *in-situ* e produtos CCMERIS vs modelos OC\_v6 com produtos CCMERIS.
- Tabela 13. Análise entre dados Chl-a *in-situ* e produtos CCMERIS\_FP vs modelo OC\_v4 com produtos CCMERIS\_FP.
- Tabela 14. Análise entre dados Chl-a *in-situ* e produtos CCMERIS\_FP vs modelo OC\_v6 com produtos CCMERIS\_FP.
- Tabela 15. Análise entre dados Chl-a *in-situ* e produtos *algal\_2* vs modelo OC\_v4 com produtos MERIS ESA.
- Tabela 16. Análise entre dados Chl-a *in-situ* e produtos *algal\_2* vs modelos OC\_v6 com produtos MERIS ESA.
- Tabela 17. Análise entre dados Chl-a *in-situ* e valores estimados pelos algoritmos de Moses, Gitelson e Gilerson, com produtos *Rrs* CCMERIS.
- Tabela 18. Análise entre dados Chl-a *in-situ* e valores estimados pelos algoritmos de Moses, Gitelson e Gilerson, com produtos *Rrs* CCMERIS\_FP.
- Tabela 19. Análise entre dados Chl-a *in-situ* e valores estimados pelos algoritmos de Moses, Gitelson e Gilerson, com produtos *Rrs* MERIS ESA.
- Tabela 20. Análise entre dados Chl-a *in-situ* e valores estimados pelos algoritmos de Gons *et al*, com produtos *Rrs* CCMERIS.

Tabela 21. Análise entre dados Chl-a *in-situ* e valores estimados pelos algoritmos de Gons *et al*, com produtos *Rrs* CCMERIS\_FP.

Tabela 22. Análise entre dados Chl-a *in-situ* e valores estimados pelos algoritmos de Gons *et al*, com produtos *Rrs* MERIS ESA.

Tabela 23. Coeficientes para o algoritmo TSM Nechad geral, segundo [20].

Tabela 24. 25. 26. e 27. Análise entre dados TSM *in-situ* e valores estimados pelos algoritmos de Nechad e Ruddick, com produtos *Rrs* CCMERIS, CCMERIS\_FP e MERIS ESA para *matchups* de 2005 a 2009 e CCMERIS\_FP para 2005-2012, respetivamente.

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Dados de Chl-a da BD\_PCC, correspondentes ao Site 20.

Gráfico 2. Valores médios e medianos para as concentrações de TSM medidas em cada *site* do PCC.

Gráfico 3. Valores médios e medianos para as concentrações de Chl-a medidas em cada *site* do PCC.

Gráfico 4. e 5. Relação entre as *Rrs* das bandas do azul e verde [34].

Gráfico 6. Relação entre a Chl-a e o coeficiente de absorção de partículas (Aitken et al, 2009).

Gráfico 7. e 8: Histogramas relativos aos dados *in-situ* de TSM Chl-a, do *Site* 4.

Gráfico 9. Dados de Chl-a + Feopigmentos e TSM medidos na estação 4, entre 2005 e 2011.

Gráfico 10. Altura das marés alta e baixa em Lisboa no ano de 2006 e momento da recolha de dados nas estações ValorSul.

Gráfico 11. a 14. Dados *in-situ* de Chl-a nas quatro estações do projeto Valor Sul e variação MERIS anual da concentração de Chl-a determinada pelo modelo CCMERIS (2006).

Gráfico 15. a 18. Dados *in-situ* de TSM nas quatro estações do projeto Valor Sul e variação MERIS anual da concentração de TSM determinada pelo modelo CCMERIS (2006).

Gráfico 19. e 20.: Correlações entre dados *in-situ* e produtos CCMERIS, na estação 3 (2005-2009).

Gráfico 21. a 24. Valores de Chl-a obtidos para a estação 4, pelos modelos MERIS ESA e os três modelos do PCC.

Gráfico 25. a 28. Valores de TSM obtidos para a estação 4, pelos modelos MERIS ESA e os três modelos do PCC.

Gráfico 29. e 30. Correlação entre dados *in-situ* de Chl-a e concentrações das imagens de satélite MERIS.

Gráfico 31. e 32. Correlação entre dados *in-situ* de TSM e concentrações das imagens de satélite MERIS

Gráfico 33. Valores de Chl-a dos 29 *matchups* resultantes do processamento CCMERIS\_FP (2005 a 2012).

Gráfico 34. Valores de TSM dos 29 *matchups* resultantes do processamento CCMERIS\_FP (2005 a 2012).

Gráfico 35. e 36: Correlações totais dos 29 *matchups* dos produtos CCMERIS\_FP (2005 a 2012).

Gráfico 37. Produtos Chl-a CCMERIS e Chla CCMERIS obtidos pelo algoritmo OC4E (versão 4).

Gráfico 38. Produtos Chl-a CCMERIS e Chla CCMERIS obtidos pelo algoritmo OC4 (versão 6).

Gráfico 39. Produtos Chl-a CCMERIS\_FP e Chla CCMERIS\_FP obtidos pelo algoritmo OC4E (versão 4).

Gráfico 40. Produtos Chl-a CCMERIS\_FP e Chla CCMERIS\_FP obtidos pelo algoritmo OC4 (versão 6).

Gráfico 41. Correlação entre dados *in-situ* e os valores Chl-a MERIS ESA obtidos pelo modelo OC4 (versão 4).

Gráfico 42. Correlação entre dados *in-situ* e os valores Chl-a MERIS ESA obtidos pelo algoritmo OC4 (versão 6).

Gráfico 43. e 44.: Produtos Chl-a CCMERIS vs algoritmo de 2 bandas de Moses (2009) e Gilerson (2010), com *Rrs* CCMERIS.

Gráfico 45. a 48. Relação entre a variável *R2* e os dados de Chl-a medidos *in-situ*.

Gráfico 49. a 50: Relação entre os produtos CCMERIS\_FP e os algoritmos de Gons.

Gráfico 51. Dados *in-situ* vs algoritmo G1 de Gons, recorrendo às *Rrs* MERIS ESA

Gráfico 52. Dados Chl-a *in-situ* e CCMERIS vs Modelo MUMM\_Chla com refletâncias CCMERIS (2005 a 2009).

Gráfico 53. Dados Chl-a *in-situ* e CCMERIS\_FP vs Modelo MUMM\_Chla com refletâncias CCMERIS\_FP (2005 a 2009).

Gráfico 54. Dados Chl-a *in-situ* e CCMERIS\_FP vs Modelo MUMM\_Chla com refletâncias CCMERIS\_FP (2005 a 2012).

Gráfico 55. Dados Chl-a *in-situ* e *algal\_2* vs Modelo MUMM\_Chla com refletâncias MERIS ESA (2005 a 2009).

Gráfico 56. Dados TSM *in-situ* vs algoritmo Nechad\_3, recorrendo a produtos RLw CCMERIS.

Gráfico 57. Dados TSM *in-situ* vs algoritmo Nechad\_3, recorrendo a produtos  $\rho$  MERIS ESA.

Gráfico 58. Dados TSM de satélite vs algoritmo Nechad\_3.

Gráfico 59. Dados TSM *in-situ* vs algoritmo Nechad\_4, recorrendo a produtos RLw e  $\rho$ , refletâncias CCMERIS e MERIS ESA, respetivamente.

Gráfico 60. Dados TSM *in-situ* e CCMERIS\_FP vs algoritmo Nechad\_5, recorrendo a produtos RLw, CCMERIS\_FP.

Gráfico 61. Dados TSM *in-situ* e *algal\_2* vs algoritmo Nechad\_5, recorrendo a produtos  $\rho$ , MERIS ESA.

Gráfico 62. Dados *in-situ* da estação 4 vs produtos MODIS (2005 a 2007).

Gráfico 63. Produtos de satélite CCMERIS e MERIS ESA vs MODIS.

Gráfico 64. Produtos de satélite CCMERIS vs MODIS

Gráfico 65. e 66. Maré, produtos de Chl-a (em cima) e TSM (em baixo) recolhidos *in-situ* e respetivos valores CCMERIS na estação S4, ao longo do ano de 2006.

Gráfico 67. Concentração de TSM CCMERIS vs e amplitude da maré em 2006.

Gráfico 68. Altura das marés em 2006 vs valores de TSM CCMERIS.

Gráfico 69. Caudal no Estuário do Tejo em 2006.

Gráfico 70. Produtos conc\_tsm CCMERIS e caudal no Estuário do Tejo, em 2006.



# 1. INTRODUÇÃO

Desde sempre que as zonas costeiras, zonas de transição entre a terra e o mar/oceano, foram zonas de eleição para a concentração do Homem. Há mais de dez anos que 60 % da população mundial está concentrada nesta zona [1] e em muito devido ao alimento proveniente das pescas, às terras mais férteis, ao turismo e recreio (veraneio e barcos) e ao emprego, gerado e relacionado com as atividades anteriores. A estas zonas estão também, no entanto, associados problemas de poluição, inundação e erosão, parte dos quais são um pouco consequência da concentração populacional, embora outros sejam inerentes à própria estrutura da costa (praias, dunas, estuários e recifes) e a efeitos como as ondas e marés e o desaguamento de rios. Todos estes fatores são motivos para a necessidade de existência de monitorização da água nas zonas costeiras. Cada vez mais a Deteção Remota é utilizada neste processo de monitorização, no entanto, devido à complexidade da costa, existe ainda a necessidade de aprimorar o processamento da informação recolhida, para a consequente obtenção de valores mais credíveis.

Dois dos mais importantes elementos da água, e que é importante serem monitorizados, são a concentração de Clorofila-a (*Chlorophyll-a*, Chl-a, valores em unidades  $\text{mg}/\text{m}^3$ ), elemento relacionado com a quantidade de fitoplâncton na água, ou seja, com a capacidade de produção primária, e a Matéria Particulada em Suspensão (MPS, referida neste trabalho também como *Total Suspended Matter*, TSM, valores em unidades  $\text{mg}/\text{l}$ ), que influencia a quantidade de luz que penetra na água.

O Projeto CoastColour (PCC) surgiu da necessidade da Agência Espacial Europeia (ESA) em explorar as capacidades das imagens MERIS (*Medium Resolution Imaging Spectrometer*, um sensor do satélite ENVISAT – *ENVironment SATellite*), na determinação da concentração de elementos da água (produtos) em zonas costeiras. De uma equipa com seis grupos de trabalho (Plymouth Marine Laboratory, PML – Inglaterra, Helmholtz Center Geesthacht, GKSS – Alemanha, Management Unit of the North Sea Mathematical Models MUMM – Bélgica, Université du Littoral Côte D'Opale LISE-Adrinord – França, Centro de Oceanografia CO – Lisboa e Brockmann Consult – Alemanha), ficou destinada à equipa portuguesa a tarefa de receção, organização, gestão e validação/controlo de qualidade de dados recolhidos *in-situ* na água e enviados por diversas entidades/users para o projeto, para a criação de uma base de dados. Esta base de dados é necessária e fundamental para a validação (interna do projeto) dos novos produtos CoastColour.

Depois de cumprida a etapa de organização e validação dos dados *in-situ* para o Projeto e depois de obtidos os primeiros produtos resultantes do novo processamento, foi feita a validação dos produtos Chl-a e TSM com dados do Estuário do Tejo, recorrendo a diferentes algoritmos e a dados recolhidos sobre quatro estações do projeto da Valor Sul, SA.. Foram analisados e comparados os resultados do modelo aplicado pela ESA às imagens MERIS (MERIS ESA) e os resultados dos novos modelos do Projeto CoastColour (CCMERIS, CCMERIS\_QAA e CCMERIS\_FP) aplicado às mesmas imagens MERIS base (L1b). Procedeu-se também a análise dos resultados dos produtos obtidos em relação a parâmetros ambientais como a amplitude da maré em Lisboa e o caudal do Estuário do Tejo.

## 1.1. Organização do trabalho

Neste primeiro capítulo são citados alguns conceitos e ideias importantes para a contextualização deste estudo, e por isso são apresentados um enquadramento teórico (1.2) e os objectivos do trabalho (1.3). Na secção 1.2.1. são referidos conceitos relacionados com satélites e, em particular, é apresentado o tipo de imagens de satélite utilizadas como base de trabalho: as imagens do sensor MERIS (1.2.1.1.2.). Na secção 1.2.2 e 1.2.3. são definidos conceitos relacionados com produtos da água (Chl-a, feopigmentos e TSM) e com as propriedades óticas da água, propriedades inerentes, IOPs (*Inherent Optical Properties*) e propriedades aparentes AOPs (*Apparent Optical Properties*). Na secção 1.3.1. é apresentado em detalhe o PCC e na secção 1.3.2. identifica-se a zona de estudo usada para validação dos produtos do PCC, o Estuário do Tejo, onde se apresentam algumas das dificuldades inerentes ao estudo deste tipo de zonas estuarinas.

No segundo capítulo estão descritas as metodologias aplicadas no estudo. Na secção 2.1 é explicitado o método sobre a obtenção, leitura, extração e tratamento de produtos das imagens MERIS, sendo efetuada uma sumária apresentação dos programas EOLi-SA e BEAM. Os dois conjuntos de dados *in-situ* utilizados neste trabalho são descritos na secção 2.2, sendo devidamente esclarecida a diferença entre dados *in-situ* para o projeto e dados *in-situ* para validação dos novos produtos. Na secção 2.3 é descrito, de forma sucinta, o modo de processamento geral das imagens MERIS pelo PCC. Os modelos aplicados pela ESA às imagens de satélite MERIS, os modelos desenvolvidos para o sensor SeaWiFS (projeto Ocean Colour), o modelo do Projeto CoastColour e alguns algoritmos desenvolvidos por diversos investigadores e aplicados neste trabalho, todos destinados à obtenção de valores de Clorofila-a e Partículas em Suspensão, estão descritos na secção 2.4. Na última secção deste capítulo (2.5) é descrita a metodologia da validação: como é que foram avaliados os novos produtos do PCC e que abordagens foram tomadas.



Os resultados obtidos e a respetiva análise são apresentados no terceiro capítulo. Aqui estão descritos e analisados os dois conjuntos de dados *in-situ*: os enviados pelos *users* para o PCC, em particular os dados do *site* 1 – North Sea e do *site* 4 – Marrocos (os *sites* que contêm a costa Portuguesa, secção 3.1) e os dados *in-situ* usados para validação dos novos produtos PCC (recolhidos no Estuário do Tejo, secção 3.1.2). São apresentados os produtos das imagens de satélite sobre a zona de validação (secção 3.3): os produtos MERIS do Projeto CoastColour (conc\_chl, conc\_tsm e a aplicação dos algoritmos às refletâncias), os produtos MERIS processados pela ESA (algal\_2 e aplicação dos algoritmos às refletâncias) e os produtos MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*). São também expostos e analisados os resultados da comparação dos novos produtos PCC com outros parâmetros ambientais como a amplitude da maré em Lisboa e o caudal do Estuário do Tejo (secção 3.3.5 e 3.3.6, respetivamente).

A quarta parte do trabalho caracteriza-se pela discussão dos resultados anteriores. São apresentados estudos onde se debatem resultados semelhantes aos obtidos e onde se poderão encontrar respostas em relação às dúvidas surgidas.

Para finalizar, no capítulo quinto, são apresentadas algumas propostas de trabalho futuro, quer relacionadas com a validação, quer relacionadas com o Projeto CoastColour em geral.

## **1.2. Enquadramento Teórico**

### **1.2.1. Produtos de Imagens de Satélite**

#### **1.2.1.1. A Agência Espacial Europeia e o Satélite ENVISAT**

A Agência Espacial Europeia (ESA – *European Space Agency*) é a porta da Europa para o Espaço [2]. Fundada em 1975, no formato como hoje a conhecemos, integrava dez países europeus e foi a fusão dos centros ELDO (*European Launch Development Organisation*) e ESRO (*European Space Research Organisation*). Há, portanto, quase quarenta anos que esta agência promove a cooperação entre (atualmente) dezanove estados europeus, para investigação e desenvolvimento tecnológico para aplicações espaciais. Hoje é um grupo com cerca de 2 250 pessoas espalhadas por cinco Centros Europeus e por outras entidades de investigação cooperantes que, em conjunto, foram já responsáveis por mais de 70 projetos de satélites, divididos por seis missões: a CryoSat-2 (desde 2010, dedicada ao estudo do gelo sobre o Planeta), a SMOS (desde 2009, com o objetivo de estudar o ciclo da água da Terra), a GOCE (também desde 2009, estuda o campo gravitacional da Terra), a ENVISAT (desde 2002,

monitorizou a superfície terrestre, a atmosfera, o oceano e calotas de gelo, sendo que deixou de comunicar com a Terra no passado dia 8 de abril de 2012), a ERS (ERS-1 entre 1991 e 2000 e o ERS-2 entre 1995 e 2011, na mesma órbita que o ERS-1, recolheram muita informação acerca do clima e superfícies da Terra, terrestre e marítima), e a Proba-1 (desde 2001, seria apenas um demonstrador de tecnologia, sendo o satélite mais pequeno da ESA com volume inferior a 1 m<sup>3</sup>, mas transformou-se num projeto de missão, com capacidade de captar imagens sobre a Terra em 5 ângulos diferentes). Até à data, entre satélites de carácter científico ou de navegação (como, por exemplo, os do projeto Galileo), foram já efectuados mais de 200 lançamentos para o espaço, por diferentes “lançadores de satélites”, tendo o primeiro ocorrido a 24 de dezembro de 1979, efetuado pelo *Ariane 1* [3]. Atualmente, com carácter científico, estão em operação dezasseis satélites.



Figura 1: Lançamento do Envisat pelo Ariane 5 (esquerda) a 1 de março de 2002; simulação artística do Envisat em órbita (direita) [4].

Entre as seis missões de *Earth Observation* da ESA, a missão ENVISAT - *ENVironment SATellite* é a maior e mais sofisticada missão civil de observação da Terra. O satélite, com 8 toneladas, foi lançado pela *Ariane 5* na Guiana Francesa, a 1 de março de 2002 (Figura 1) e completou, no dia 7 de abril de 2012, 52 800 órbitas (o período orbital era de cerca de 100,6 minutos, 14+11/35 órbitas por dia), tendo percorrido mais de 2,25 biliões de quilómetros. Com órbita héliossíncrona e quase-polar (semi eixo maior igual a 7 159,5 km e inclinação de 98,55°), a sua posição variava entre os 780 e os 820 km de altitude, e com uma velocidade de 7,45 km/s, completava um ciclo sobre a Terra em 35 dias. Era composto, entre outros componentes, por dez instrumentos (ilustrados na Figura 2), destinados à obtenção de dados

sobre a Terra e à comunicação com bases terrestres para transmitir e descarregar a informação recolhida.

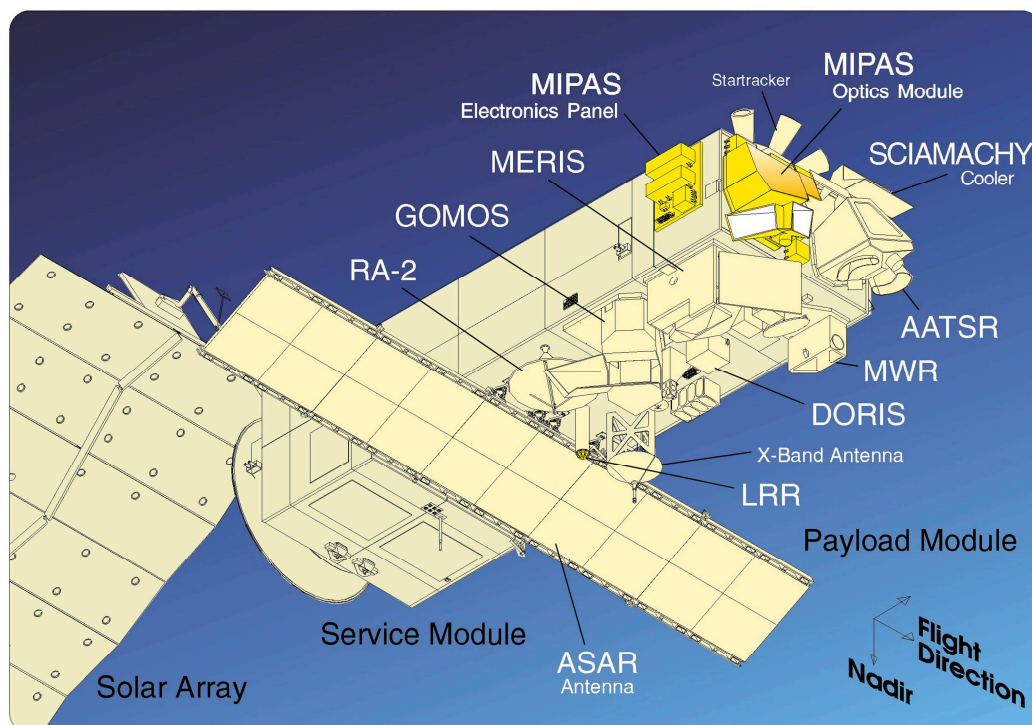


Figura 2: Composição do Envisat [4].

O RA-2 (*Radar Altimeter 2*) permitiu determinar, com erro inferior a 1 nanosegundo ( $10^{-9}$  segundos, tempo que a luz demora a percorrer, aproximadamente, 30,0 cm no vácuo), a diferença entre os ecos de radar enviados e devolvidos pela superfície da Terra; o GOMOS (*Global Ozone Monitoring by Occultation of Stars*), espectrómetro de média resolução, dedicou-se à medição dos constituintes da atmosfera em três intervalos de comprimentos de onda, entre os 250 e os 952 nanómetros (nm), (Figura 3); o sensor ótico MERIS (*Medium Resolution Imaging Spectrometer*) operou na banda do visível e infravermelho próximo e teve como objetivo o estudo de características do Solo, Atmosfera e Oceano; o MIPAS (*Michelson Interferometer for Passive Atmospheric Sounding*), permitiu determinar em alta resolução a emissão de gases no Limbo da Terra; o SCIAMACHY (*Scanning Imaging Absorption Spectrometer for Atmospheric Cartography*) era o espectrómetro de imagem dedicado à medição de gases na Troposfera e Estratosfera; o AATSR (*Advanced Along Track Scanning Radiometer*) é um instrumento que teve como principal objetivo a determinação da Temperatura da Superfície do Oceano (SST – *Sea Surface Temperature*), dando continuidade à base de dados do ATRS-1 e 2 (sensores dos ERSs); o MWR (*MicroWave Radiometer*) permitiu a determinação da emissividade da Terra e da humidade do solo (para estudos

atmosféricos e caracterização do gelo), além da medição da coluna de vapor de água e da concentração de água nas nuvens que são fatores importantes para a correção do sinal radar altimétrico; o DORIS (*Doppler Orbitography and Radio-positioning Integrated by Satellite*) era o sistema de posicionamento, para se determinar a posição exata do ENVISAT; o LRR (*Laser Retro-Reflector*) é um instrumento passivo usado como refletor, para ser captado pelos lasers impulsionados a partir de bases espaciais terrestres (no caso do ENVISAT, pela ILRS – *International Laser Ranging Service*), e o ASAR (*Advanced Synthetic Aperture Radar*), o maior instrumento a bordo, deu continuidade à missão ERS-1 e 2 SAR, operando na banda C (micro-ondas) e captando imagens SAR.

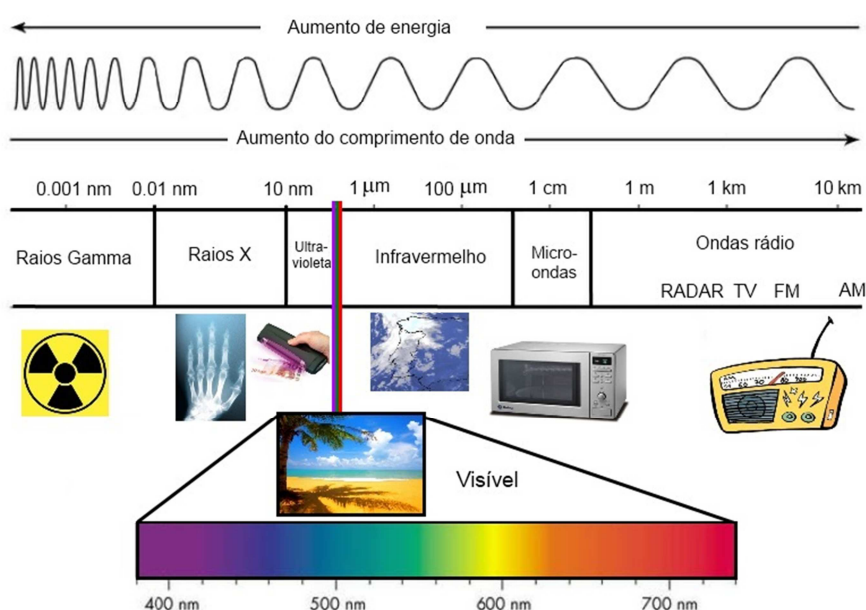


Figura 3: Espectro electromagnético.<sup>1</sup>

## 1.2.1.2. O Sensor MERIS

### 1.2.1.2.1. Missão, características e funcionamento

No início da missão, o sensor MERIS tinha como objetivo o estudo da Cor do Oceano e das Zonas Costeiras. Mas, a informação por ele recolhida proporcionou o desenvolvimento de estudos também sobre a Superfície Terrestre (ocupação do solo/vegetação) e Atmosfera (nuvens e precipitação). Em relação a missões sobre a água (oceano, mar, lagos, costa), hoje é possível obter (entre outras) medições da biomassa fitoplanktonica permitindo, por exemplo, o auxílio às atividades piscatórias. Sobre a Superfície Terrestre, a informação recolhida pelo

<sup>1</sup> Adaptado de diferentes imagens retiradas de [www.google.com](http://www.google.com).

sensor MERIS possibilita o estudo das alterações sazonais de culturas e vegetação em geral; é assim possível perceber melhor a dinâmica climática, permitindo traçar modelos de previsão no sentido de conjecturar alterações climáticas futuras. Relativamente à Atmosfera, é possível determinar a pressão atmosférica existente no momento de captura da imagem, a determinação da altura a que se encontram as nuvens e a sua espessura, permite determinar o conteúdo de vapor de água na coluna de observação captada pelo sensor e possibilita ainda a medição das propriedades de certos aerossóis.

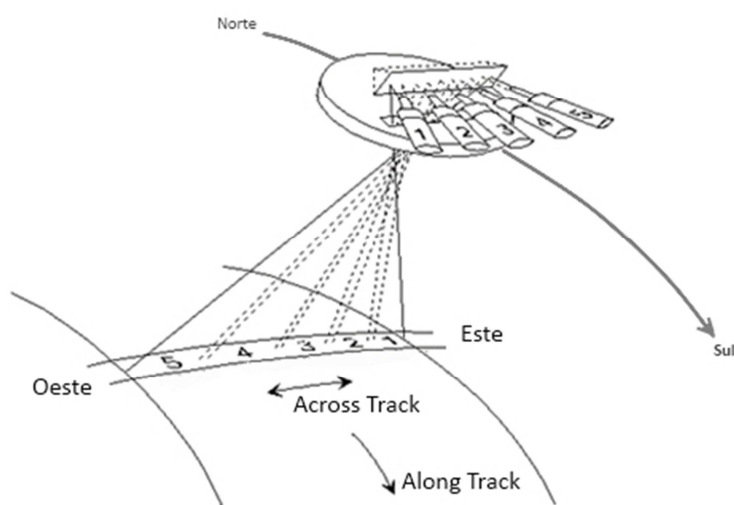


Figura 4: Esquema do funcionamento do sensor MERIS (adaptado de [5], pág.17).

Este sensor captava na vertical a radiação solar refletida pela Terra. Isto é, tratava-se de um sensor passivo (captava a informação que recebia, não emitindo qualquer tipo de sinal), fazia observação centrada na direção Nadiral, permitindo captar informação sobre a superfície terrestre em períodos diurnos e sem nuvens. Estes factos, aliados à órbita a que se encontra o satélite (héliossíncrona) e também devido ao teor de ruído associado a diferentes níveis de radiação, (principalmente os níveis baixos, como os que resultam da reflexão da água), obrigam a um processamento de imagem muito rigoroso. Funciona em modo *push-broom* (varrimento dedicado e não mecânico), e os seus CCDs (*Charge Coupled Device*, colocados um em cada uma das cinco câmaras que compõem o sensor) captam cinco imagens em modo *across-track*, ou seja, perpendicularmente à direção de navegação do satélite (mesma direção: *along track direction*; direção perpendicular: *across-track direction*), obtendo assim, em cada leitura, informação sobre uma faixa com 1 150 km de largura (que corresponde a um campo de visão de  $68,5^\circ$  centrado no Nadir, sendo que cada câmara capta  $14^\circ$ , Figura 4), permitindo deste modo a obtenção de dados da superfície terrestre em apenas 3 dias (resolução temporal). Operando nas zonas do visível e do infravermelho próximo (que no espetro

eletromagnético corresponde ao intervalo entre os 390 nm e os 1 040 nm, Figura 3), possui 15 bandas espectrais (resolução espectral) e é possível, a partir da base terrestre, reprogramar a posição e o intervalo/largura das bandas de acordo com as condições de observação e/ou as necessidades/objetivos (larguras de banda mínimas de 1,25 nm, mas que podem chegar até aos 3,75 nm ou mesmo 30 nm; Tabela 1). Sobre cada banda, o sensor grava, em cada pixel, a informação de radiância captada, habitualmente numa escala digital – números inteiros de 0 – 4095 – que representam uma escala de níveis de cinza (resolução radiométrica de 12 bits).

Devido à órbita do satélite e à composição do sensor, existe uma boa relação entre resolução temporal, resolução radiométrica e resolução espacial (descrita no capítulo seguinte), o que fez deste sensor um bom aliado à monitorização em tempo quase real (*Near Real Time*, NRT).

Tabela 1: Caracterização das bandas do sensor MERIS.

Número da banda espectral	Centro da banda (nm)	Intervalo da banda (nm)	Aplicações
1	412.5	10	Substâncias amarelas e detritos
2	442.5	10	Máximo absorção de clorofila
3	490	10	Clorofila e outros pigmentos
4	510	10	Sedimentos em suspensão, marés vermelhas
5	560	10	Mínima absorção de clorofila
6	620	10	Sedimentos em suspensão
7	665	10	Absorção de clorofila e referências à fluorescência
8	681.25	7.5	Pico da fluorescência da clorofila
9	708.75	10	Referências à fluorescência, correções atmosféricas
10	753.75	7.5	Vegetação, núvens
11	760.625	3.75	Absorção R-branch do oxigénio
12	778.75	15	Correções atmosféricas
13	865	20	Vegetação, vapor de água
14	885	10	Correções atmosféricas
15	900	10	Vapor de água e terra

#### 1.2.1.2.2. Tipo de produtos

Da informação recolhida por parte do sensor MERIS, resultam três tipos de resolução espacial e quatro níveis de processamento de produtos. Em relação à resolução, que se manifesta pela área representada em cada pixel, existem i) as imagens de alta resolução – *Full Resolution* – FR, são imagens onde cada pixel representa uma área de 300 x 300 m<sup>2</sup> sobre a superfície Terrestre, direcionadas para aplicações/estudos mais regionais como zonas costeiras ou sobre



o solo; ii) as imagens de resolução reduzida – *Reduced Resolution* – RR, onde a área do pixel representa  $1\,200 \times 1\,200\text{m}^2$ , usadas em estudos de larga escala, como sobre o oceano aberto; iii) e as imagens de baixa resolução – *Low Resolution* – LR, área de  $4\,600 \times 4\,600\text{m}^2$ , aplicadas essencialmente a estudos atmosféricos. Os produtos são captados sempre em modo FR, sendo depois, a bordo do satélite, geradas imagens RR, que são resultado da média espacial de 16 pixels de modo FR (blocos de 4 linhas por 4 colunas), e no processador terrestre, são geradas as imagens LR ( $4 \times 4$  RR). No que se refere ao processamento dos dados, este está subdividido em quatro níveis, de 0 a 3. Os produtos nível 0 (*Level0*, L0) são a informação MERIS recolhida “na forma mais pura”, sendo que as únicas transformações aplicadas à imagem obtida são a determinação da posição do satélite e a conversão do tempo binário do satélite em tempo universal coordenado (SBT - *Satellite Binary Time* para UTC - *Universal Time Coordinate*). O produto resultante é uma imagem recolhida e composta pelas leituras dos CCDs das cinco câmaras, imagem essa que contém um cabeçalho gerado e adicionado ao ficheiro pelo FEP, (*Front-End Processor*, processador final de imagem), que contém informação sobre o instrumento e a recolha de dados (*Annotated Instrument Source Packets* – AISPs; notas como: a data Juliana modificada de recolha da imagem, a data de entrega da imagem à base terrestre, pacotes com informação sobre o instrumento de medição e a data da incorporação destes dados no ficheiro imagem [6]). O nível 0 é o único existente em todo o tipo de imagens geradas pelo MERIS: imagens de resolução total e reduzida (a designação das imagens é MER\_FR\_0P e MER\_RR\_0P), imagens de calibração (que significa que o instrumento se encontra em modo calibração, MER\_CA\_0P) e em imagens resultantes do instrumento operar em modo de campo de visão reduzido (*Reduced Field of View mode*, MER\_RV\_0P). O L0 é um tipo de processamento que, normalmente, não está acessível ao utilizador. Os produtos de nível 1 (*Level1*, L1) resultam da leitura e processamento das imagens L0, aplicando os pacotes definidos no cabeçalho da imagem (erros de transmissão, formato e/ou sequência), calibrações e georreferenciação da superfície (imagens L1A). Nesta fase, podem também já ser aplicados modelos/algoritmos à imagem para obtenção dos primeiros produtos (L1b): as radiâncias no topo da atmosfera (medição da *TOA radiances* – *Top Of Atmosphere radiance*), e é feita a classificação de cada *pixel* relativamente: à sua validade (válido ou não), à presença de demasiado brilho (*glint risk*, e por isso pode alterar a análise dos algoritmos), se é considerado Terra ou Mar, e se é, ou não, considerado linha de Costa. Estas indicações aparecem no ficheiro como *flags*<sup>1</sup>. Há imagens L1 para os modos FR e RR (MER\_FR\_1P e MER\_RR\_1P) e são distribuídas ao público com um tamanho que representa a superfície em 582 por 650 km ou 300 por 334 km (este último tipo de imagem é

---

<sup>1</sup> Flags – anotações que se fazem acerca de cada *pixel*; a cada anotação corresponde um código 0 ou 1 (bit) e a conjugação dos códigos (byte) define as características do *pixel*.

comumente designado por “*imagette*”). De referir que existem ainda as MER\_FRS\_1P: imagens concedidas ao utilizador em *Full Swath*, isto é, cada imagem representa uma faixa completa de leitura do sensor (FRS – *Full Resolution Swath*; uma faixa *across track*). Os dados resultantes do processamento L1, os dezasseis parâmetros (quinze radiâncias, uma por banda, e as *flags*), são a base para o processamento das designadas imagens L2 – *Level 2*. De acordo com a classificação dos pixels (identificada pelas *flags*) e através da aplicação de diferentes modelos às radiâncias obtidas, é possível a determinação de dados geofísicos sobre a Terra, Oceano e Atmosfera (dados de vegetação,... cor do oceano, concentração de Clorofila,... medição de aerossóis, concentração de vapor de água, etc.). Deste processamento L2 resultam as imagens MER\_FR\_2P e MER\_RR\_2P onde, a cada pixel, está associado um conjunto de vinte dados: dezanove parâmetros geofísicos e, de novo, as *flags*, compostas com a informação anterior e acrescida da informação derivada deste processamento. Em relação ao formato L2, existem quatro tipos de imagem de RR e dois tipos de imagem FR. Nas imagens RR existe:

- i) o tipo de imagem MER\_RR\_2P – a “tradicional”, *Reduce Resolution Geophysical Product*: que se caracteriza por uma coleção de dados geoespaciais geofísicos, com a radiância da superfície e a radiância do topo da atmosfera no caso dos pixels não estarem classificados; as imagens são distribuídas aos utilizadores, tipicamente, com representação de 1 165 por 1 300 km da superfície terrestre e uma primeira versão desta imagem está disponível 3 horas depois da sua aquisição: NRT (*Near Real Time*) enquanto que a versão mais consolidada (OFL – *Fully Consolidated*) é disponibilizada duas semanas depois da aquisição;
- ii) a imagem MER\_RRC\_2P (*MERIS Extracted Cloud and Water Vapour*) que é obtida a partir da RR\_2P e é destinada principalmente a aplicações meteorológicas, permitindo a obtenção de produtos como a espessura das nuvens e concentração de vapor de água; este tipo de imagem está disponível apenas em NRT;
- iii) a imagem MER\_LRC\_2P (*MERIS Extracted Cloud and Water Vapour for Meteo Users*) é idêntica à anterior, com a exceção da resolução: a partir da imagem RR\_2P são aplicados algoritmos para aglomerar pixels 4 por 4 e é assim gerada uma imagem LR, dirigida apenas e só a aplicações meteorológicas, podendo ser convertida para o formato BUFR (formato binário, universal, específico para estudos meteorológicos);
- iv) finalmente, a imagem MER\_RRV\_2P, que é obtida da RR\_2P, retirando apenas a informação sobre vegetação e estando disponível unicamente em NRT.



Em relação às imagens FR: uma é distribuída ao público com representação de 582 por 650 km de superfície terrestre ou 300 por 334 km e tem processamento semelhante à imagem tradicional em modo RR, a MER\_FR\_2P, mas que, contudo, difere no tempo para disponibilização ao utilizador: a imagem NRT está disponível passado cerca de um dia, enquanto que para se obter a imagem OFL são necessárias 2 semanas; a outra é a MER\_FRS\_2P que, tal como no modo L1, refere-se à disponibilização da faixa de varrimento inteira do sensor, na forma perpendicular à direção de navegação do satélite. Finalmente, existem as imagens nível 3 (*Level 3*, L3 – MER\_RR\_3), que são nada mais que a acumulação de dados de imagens MER\_RR\_2P (comumente utiliza-se o valor médio mensal), durante um certo período de tempo. Apresentam-se sobre uma grelha global sinusoidal com resolução de  $1/12^\circ$ , que equivale a 9,3 km no equador. Os primeiros produtos deste nível referem-se a produtos sobre/do oceano aberto, tais como a Clorofila-a, as radiâncias e a espessura ótica dos aerossóis na banda 865 nm. Os segundos produtos são sobre a Terra e o terceiro grupo de produtos referem-se à Atmosfera (a última etapa devido aos ainda complexos métodos para extração de dados devido à complexidade do tema em análise) [7].

Ainda relativamente às imagens MERIS, que possuem dados tridimensionais, acrescenta-se que para processamento/análise, cada pixel é identificado como uma linha, coluna e parâmetro. As linhas são referidas em relação ao sentido perpendicular ao sentido do voo do satélite e são enumeradas no sentido Norte-Sul, enquanto que as colunas correspondem ao movimento *along track*, isto é, são numeradas de Este para Oeste. A terceira dimensão é o parâmetro em análise (radiância em L1 e produto geofísico em L2). Em relação ao ficheiro de dados/imagem, vejamos o exemplo:

MER\_FR\_\_1PNUPA20030921\_092217\_000000982020\_00079\_08149\_0354.N1

a forma geral é:

“MER\_XXX\_YZpGGGyyyymmdd\_HHMMSS\_ttttttPccc\_OOOOO\_aaaaa\_QQQQ.SS”

onde: XXX é a resolução da imagem (FR\_, RR\_, FRS), YZ é o nível da imagem (1P, 2P ou 3P), *p* representa o processamento da imagem (N = NRT, V = completamente validada; T = produto teste ou S = produto especial), GGG refere-se ao centro que gerou a imagem (representado sempre apenas por três caracteres), *yyyymmdd\_HHMMSS* representam o dia e hora de início de aquisição da imagem (ano, mês, dia, hora, minuto e segundo), *tttttt* representa a duração, em segundos, da aquisição da imagem, *P* identifica a fase de recolha da imagem (1-horizontal

ou 2-vertical), ccc é o número do ciclo, OOOOO é o número relativo da órbita relativamente ao ciclo em que passa, enquanto que aaaaa é o número absoluto de orbitas do satélite ate ao momento, QQQQ é como um contador de produtos, a cada imagem que seja processada/pedida de novo há o incremento de uma unidade, finalmente o SS identifica o satélite (E1 = ERS-1, E2 = ERS-2 e N1 = ENVISAT) [5].

### 1.2.2. O que se entende por *Chlorophyll-a* e *Total Suspended Matter*

A água do Oceano contém, entre outros elementos, pequenas algas e vários (micro) organismos, globalmente designados por fitoplâncton (plantas, cianobactérias e protistas). Tal como as plantas superiores em Terra, o fitoplâncton possui diversos pigmentos que absorvem e refletem a luz, essenciais no processo de fotossíntese. Em particular, é importante o estudo da concentração da Clorofila-a, uma vez que é o principal pigmento do processo fotossintético (*Chlorophyll-a*, Chl-a,  $C_{55}H_{72}O_5N_4Mg$  – Carbono, Hidrogénio, Oxigénio, Azoto e Magnésio). A concentração de Chl-a, neste trabalho, é apresentada em unidades de miligrama por metro cúbico ( $mg/m^3$ ), que é equivalente a microgramas por litro ( $\mu g/l$ ). Outro pigmento importante, associado à Clorofila-a, é a concentração de Feopigmentos (ou feofitina). Estes resultam da degradação da própria Clorofila-a, por isso, a sua concentração pressupõe a existência anterior de Chl-a no local. A sua concentração expressa-se também em unidades de  $mg/m^3$ .

Por outro lado, aliado ou não à concentração de fitoplâncton, a água oceânica é também portadora de matéria particulada em suspensão (MPS, ou *Total Suspended Matter*, TSM), principalmente nas zonas costeiras e estuarinas. A TSM é a matéria ressuspensa (orgânica ou inorgânica) ou resultado de sedimentos provenientes dos rios, erosão de praias, dunas ou arribas. O estudo da concentração de TSM é de extrema importância para i) a monitorização da erosão costeira, apoiando os cálculos de balanço sedimentar ([1] e [8]), ii) é o suporte à análise de fenómenos como o controlo de poluição e iii) como influencia a penetração de luz e, consequentemente, a capacidade de fotossíntese, é um fator importante também no estudo da fauna e flora aquáticas [1]. Usualmente, como neste trabalho, as unidades da TSM são miligramas por litro ( $mg/l$ ), que é equivalente a gramas por metro cúbico ( $g/m^3$ ).

### 1.2.3. IOPs e AOPs

A água possui diversas propriedades entre as quais as propriedades óticas, sendo que existem dois conjuntos distintos. Umas são inerentes à própria água e dependem (apenas e só) dos elementos que ela contém, independentemente de fatores externos (como a luz incidente)

– são as designadas propriedades óticas inerentes, IOPs – *Inherent Optical Properties*. O outro conjunto de propriedades designa-se por propriedades óticas aparentes, AOPs, *Apparent Optical Properties*, que se traduzem essencialmente por propriedades radiométricas.

O sensor MERIS permite a determinação de valores de IOPs como i) a absorção da luz (por parte de partículas vivas, inertes e inorgânicas,  $a_p$ ; por parte da designada “substância amarela” ou CDOM, *Colored Dissolved Organic Matter*,  $a_g$ ; por parte do fitoplâncton,  $a_{pig}$ , e por parte de partículas não pigmentadas/detritos,  $a_d$ ); ii) a dispersão da luz (*scattering*,  $b_b$ ), e ainda iii) a fluorescência: quantidade de luz que é recebida em determinado comprimento de onda e é, depois, refletida noutro comprimento de onda. Por outro lado, a partir das imagens MERIS é possível também obter informação sobre as AOPs. As mais relevantes são a irradiância da água (quantidade de luz que atravessa a unidade de área, no sentido ascendente, *upwelling*, ou descendente, *downwelling*) e a refletância (quantidade de luz que a água reflete). Uma das refletâncias mais usadas é a que chega ao sensor, que se traduz na razão entre a radiância que sai da água na direção do sensor (normalmente designada por  $L_w$ ) e a irradiância à superfície (resultado do efeito *downwelling*,  $E_d$ ); a designada *Rrs - Remote Sensing Reflectance*. Estas propriedades aparentes permitem, por sua vez, a determinação das IOPs, que são cada vez mais utilizadas na determinação da variação das propriedades da massa de água e dos seus constituintes [9], sendo também aplicadas na determinação da concentração da Chl-a e da TSM.

Todos os elementos descritos atrás, são responsáveis pela quantidade de luz disponível no ambiente subaquático, mas também pela quantidade de fluxo de luz que sai para a superfície. É este fluxo que, captado pelo sensor MERIS permite a determinação da Cor do Oceano (*Ocean Colour Radiometry*) [10]. Como cada elemento constituinte da água imane um sinal característico sobre o conjunto dos diferentes comprimentos de onda, com a evolução dos modelos de análise desses sinais característicos, tem sido possível aprimorar a determinação dos respetivos componentes da água. A Deteção Remota tem tido grande importância neste capítulo. Com o recurso a diversos sensores, em satélites de diversas missões e orbitas, tem sido possível captar informação do Planeta sobre uma grande gama de comprimentos de onda, incluindo a zona do visível e do infravermelho próximo, que são as zonas do espectro que melhor conseguem captar informação sobre os componentes da água.

## 1.3. Objetivos do trabalho

### 1.3.1. O Projeto CoastColour

Pretende-se, cada vez mais recorrendo às oportunidades e capacidades da Detecção Remota, estudar e compreender melhor a dinâmica do fitoplâncton, principalmente nas zonas costeiras, zonas de maior necessidade de monitorização e, contudo, de maior complexidade de análise. Devido às características do sensor MERIS, boa relação entre resoluções temporal, radiométrica, espectral e espacial, as suas imagens têm sido objecto de trabalho de investigação por parte de diversos Projetos. Por exemplo, o projeto REVAMP - REgional VALidation of MERIS chlorophyll Products, decorrido entre fevereiro de 2002 e janeiro de 2005, teve como objetivo desenvolver algoritmos aplicáveis às imagens de satélite do sensor MERIS, para se poderem determinar melhores mapas de concentração de Clorofila-a na zona do Mar do Norte [11]. Neste seguimento, e na procura da ESA pelo desenvolvimento de melhores processamentos das imagens MERIS, surgiu em 2010 o Projeto CoastColour (PCC, [www.coastcolour.org](http://www.coastcolour.org)). Este Projeto propôs-se desenvolver novas metodologias, regionais, para a obtenção de melhor informação sobre a concentração de diversos componentes da água ao longo de diferentes zonas costeiras e lagos. Ao todo foram definidos 27 *sítes* (Tabela 2, definidos e descritos pormenorizadamente no site do projeto), que se podem identificar na Figura 5. Pretende-se com os novos produtos, dar mais apoio a diversas entidades industriais (como a pesca e a aquacultura), às autoridades locais na monitorização da qualidade da água e à comunidade científica, de diferentes áreas, no estudo do ambiente local.

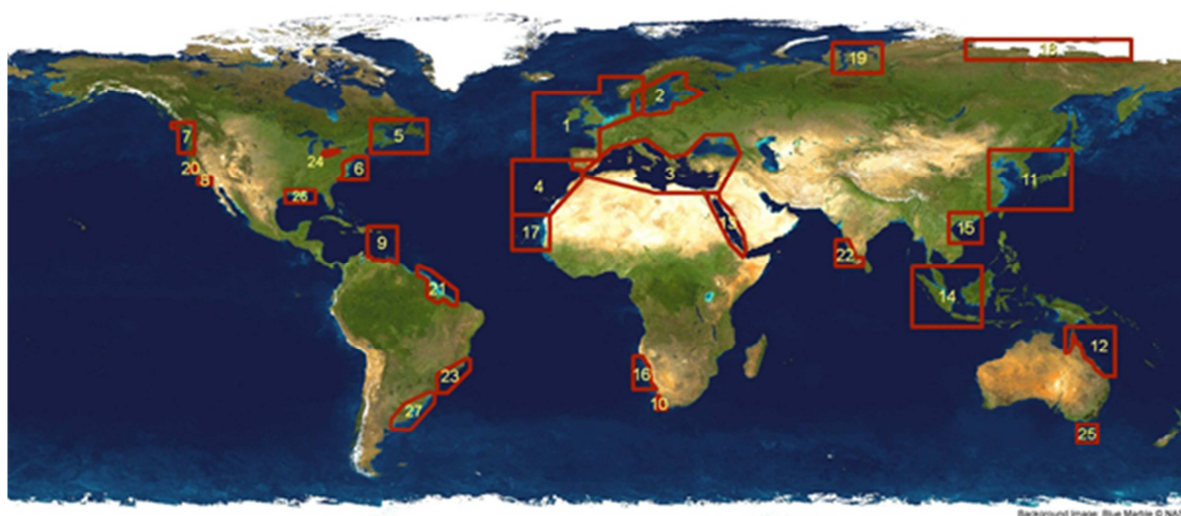


Figura 5: Localização dos *Sítes* definidos no Projeto CoastColour da ESA.

Tabela 2: Caracterização dos *Sites* definidos no Projeto CoastColour da ESA.

Sites	Zonas
1	Mar do Norte, Canal Inglês, Mar Céltico, Mar Irlandês, Baía da Biscaia, Costa Norte e Centro de Portugal
2	Mar Báltico
3	Mar Metiterrâneo e Mar Preto, incluindo o delta do Nilo
4	Costa Centro e Sul de Portugal, até ao Faial no Arquipélago dos Açores, Madeira e Costa Marroquina
5	Costa Este do Canadá, incluindo o Golfo de Saint Lawrence e a Baía de Fundy
6	Baía de Chesapeake
7	Costa dos estados de Oregon e Washington (Estados Unidos da América, EUA)
8	Zona costeira de Santa Bárbara e de Los Angeles (Sul do estado da Califórnia, EUA)
9	Porto Rico, Costa Norte da Venezuela e Ilhas Granadinas
10	Extremo sul do sistema de afloramento de Benguela (zona Sudoeste de África do Sul)
11	Mar da China (parte Este), Mar Amarelo e Mar do Japão
12	Barreira de Corais e Costa Nordeste da Austrália
13	Mar Vermelho, até ao Golfo do Aden
14	Mar na zona Oeste da Indonésia (Sumatra, Java e parte da Ilha de Bornéu - Ilha de Kalimantan) e a Malásia
15	Baía de Beibu, Golfo de Tonkin (Vietname) e Ilhas de Paracel
16	Costa da Namíbia
17	Ilhas de Cabo Verde, Costas do Oeste do Sahara, Mauritânia e Senegal
18	Delta do Lena e Ilhas Novas da Sibéria
19	Parte Sul do Mar de Kara e Yamalia (Norte da Rússia)
20	Zona costeira de São Francisco de de São José (Califórnia, EUA)
21	Guiana Francesa e Norte do Brasil, incluindo o Delta do Amazonas
22	Costa Sudeste da Índia, incluindo as Ilhas Lakshadweep
23	Costa do Rio de Janeiro e São Paulo
24	Lagos: Erie e St. Clare (o lago Erie é um dos Grandes lagos, limitado a Norte pela Província Canadense de Ontário e a Sul pelos Estados de Nova Iorque, Ohio e Pensilvânia, EUA)
25	Tasmânia (Austrália)
26	Golfo do México
27	Estuário do Rio de La Plata (Argentina)

O PCC foi/é uma equipa composta por seis entidades fundamentais: PML (Inglaterra), GKSS (Alemanha), MUMM (Bélgica), LISE-Adrinord (França), CO (Portugal) e Brockmann Consult (Alemanha). Destas entidades, há dez investigadores principais que, aliados às suas equipas, tiveram a cargo diferentes tarefas ao longo do projeto, organizadas em cinco diferentes grupos de atividades: 1: definição e desenvolvimento dos novos algoritmos (Norman Fomferra, Uwe Krämer, Ronald Doerffer, Prof. Richard Santer); 2: designado por “*production*”, tratou-se da atualização do software MERCI – *MERIS Catalogue and Inventory*, base de imagens e processamentos exclusivamente dedicados a/com imagens MERIS, 3: validação dos protocolos do Projeto envolvendo as orientações estabelecidas pela comunidade internacional

e organização e validação dos dados recolhidos *in-situ* pelos *users* e enviados para o Projeto para fazerem parte da base de dados de trabalho, (Prof. Vanda Brotas e Steve Groom), 4: *Regional Algorithm Round Robin* (algoritmo regional RR), processo de escolha do melhor algoritmo regional para cada zona e de acordo com as necessidades de cada entidade/*user* (Dr. Kevin Ruddick) e, finalmente, 5: Comunicação e interação com os grupos internacionais (Dr. Shubha Sathyendranath e o Prof. Trevor Platt), através de *newsletters*, portais web e com reuniões e conferências globais para discussão do estado do projeto e trabalho futuro. O mentor e responsável por toda a equipa CoastColour, e pelo acompanhamento de todas as atividades e reuniões, é Carsten Brockmann, investigador na área da Detecção Remota e perito em radiometria da cor oceânica.

Parte fundamental no desenvolvimento dos novos modelos para as imagens MERIS, foi a validação dos produtos obtidos com dados recolhidos *in-situ*, em cada um dos *sites*. Por isso, e a par do desenvolvimento dos modelos, foi criada uma base de dados *in-situ* BD\_PCC - Base de Dados do Projeto CoastColour (capítulo 2.2.1), sobre a qual foram depois aplicadas determinadas condições para se encontrar a base final de dados *matchup*, (BDM\_PCC - Base de Dados com *Matchup* do Projeto CoastColour). Para a futura BDM\_PCC contam apenas os dados recolhidos à superfície oceânica (até 5 m de profundidade), entre 2005 e 2010, e têm de ter correspondência com uma imagem de satélite, condição designada por *matchup* (para o Projeto CoastColour, para haver *matchup* tem de haver sobreposição entre pixel da imagem MERIS e coordenadas do local de recolha do dado *in-situ* e correspondências de data e hora, sendo que a diferença entre o tempo das duas recolhas, dados e imagem, não pode ser superior a 1 hora). Devido à quantidade/tipo de dados recebidos, foi despendido bastante tempo na realização da tarefa de organização e controlo de qualidade da BD\_PCC e, conseqüentemente, atrasou a disponibilização da mesma para verificação de *matchups*. Os modelos desenvolvidos inicialmente pelo Projeto (ou seja, os primeiros Produtos PCC, designados por CCMERIS), acabaram por ser validados/testados com elementos da NOMAD, base de dados oficial da NASA, (NASA: *National Aeronautics and Space Administration*, – centro de investigação Americano; NOMAD: *NASA bio-Optical Marine Algorithm Data set*). Embora não possua dados *in-situ* recolhidos sobre todos os *sites* do PCC, a NOMAD contém uma base de dados com grande variedade de produtos e foi importante para a preparação e acerto dos modelos do PCC.

De referir que as imagens base para processamento, utilizadas pelo Projeto CoastColour, são as imagens MERIS FRS L1b. Estas têm sofrido modificações também devido a atualizações dos processamentos / modelos da ESA. Estão disponíveis, desde 1 de julho de 2011, imagens derivadas de um terceiro processamento, no entanto, a base de imagens usada para aplicação dos modelos do PCC, foi a referente ao segundo processamento. A 15 de outubro de 2011, os

modelos PCC começaram a ser aplicados a todas as imagens MERIS dos anos de 2010 e 2011, e, também desde essa data até 8 de abril de 2012 (dia em que o satélite ENVISAT deixou de comunicar com a Terra), os modelos estavam a ser aplicados de forma imediata, tendo sido portanto possível obterem-se imagens NRT, processadas com os modelos PCC.

Devido à complexidade envolvida, embora o Projeto estivesse inicialmente previsto para ser realizado entre janeiro de 2010 e dezembro de 2011, em setembro de 2012 foram disponibilizados os produtos que são considerados como “os produtos finais do PCC”, (MERIS\_FP) estando ainda a ser avaliada a sua proficiência.

### 1.3.2. Zonas estuarinas

As zonas estuarinas, setores terminais dos rios e mais largos que o leito até aí, onde a água doce se mistura com água salgada, têm mais propensão à sobrecarga de partículas em suspensão uma vez que possuem muita vulnerabilidade às marés e consequente inundação de areia proveniente da costa/mar, além de que estão na parte final do escoamento do(s) rio(s), recebendo por isso todos os componentes trazidos por este(s). A variação elevada do caudal da água ao longo do dia pode provocar alterações significativas na composição da água, tais como a alteração da concentração de TSM e de Chl-a.

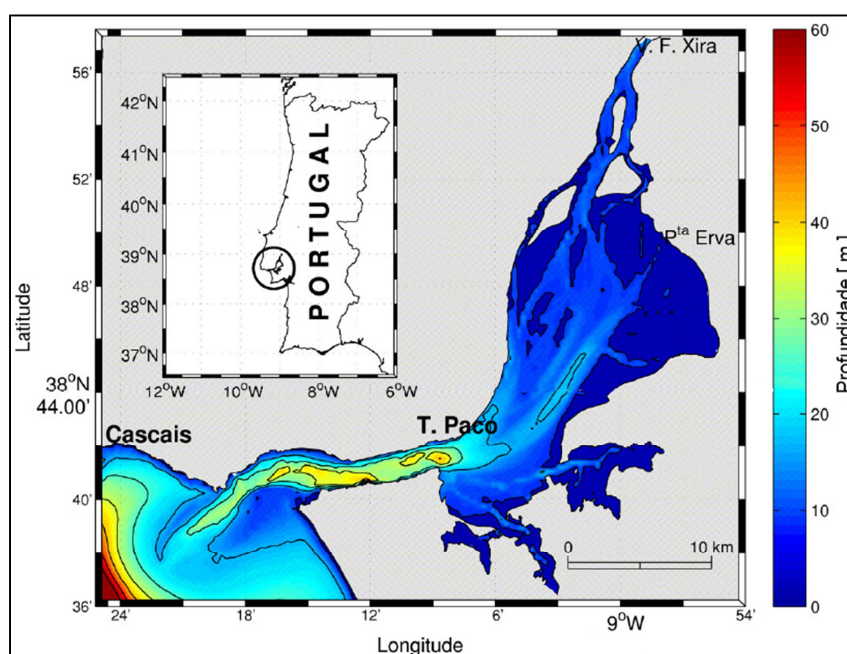


Figura 6: Estuário do Tejo e sua profundidade [12].

A presença de muitos detritos na água, poluentes ou naturais, interfere com o sinal captado pelas imagens de satélite. Podem provocar demasiada reflexão, criando o efeito de *glint risk*, (saturação do pixel por haver demasiada luz refletida), ou a contaminação do pixel e assim provocar um valor falseado aquando da aplicação dos modelos para determinação de concentrações de produtos.

A área em análise neste trabalho é o Estuário do Tejo, onde se pretende avaliar a capacidade dos novos (e antigos) produtos na monitorização desta zona. Trata-se de uma área com cerca de 320 km<sup>2</sup> de superfície, dividida em duas partes: a baía interior com profundidade média de 5 m, sobre 15 km de largura e 25 km de comprimento e o canal de saída, com cerca de 30 m de profundidade média, 2 km de largura e 15 km de longo. Trata-se de um Estuário com uma topografia complexa, devido a pequenas ilhas localizadas a Noroeste, a canais estreitos e a planícies de maré que se vão formando e desformando diariamente (Figura 6, [12]).



## 2. METODOLOGIA

### 2.1. Imagens de Satélite: obtenção, leitura, extração e tratamento de produtos

Quando se pretendem obter imagens de satélite pertencentes à base de dados da ESA, independentemente do sensor, pode-se recorrer ao programa EOLi (*Earth Observation Link*), programa livre e gratuito, que permite a interligação entre utilizadores e a base de imagens de satélite da ESA (Figura 7).

A visualização de imagens é imediata no programa, mas carece de registo para obtenção de código e *password* de acesso caso se pretenda adquirir o produto (o registo pode ser feito pelo próprio interface do programa). Através deste programa pode-se fazer uma busca à base de dados de imagens e, por exemplo, procurar as imagens MERIS sobre uma determinada zona (indicação de latitude/longitude e raio) e num determinado intervalo de tempo (data de início e final). Pode-se ainda ter acesso aos detalhes do produto como missão, sensor, tipo de produto, hora e data de obtenção, nome da imagem e ainda ao seu histograma RGB. Depois de efectuado o pedido da(s) imagem(ns), o *download* da(s) mesma(s) pode ocorrer dentro de (normalmente) 3/5 dias úteis, através de um link enviado para o email de registo.

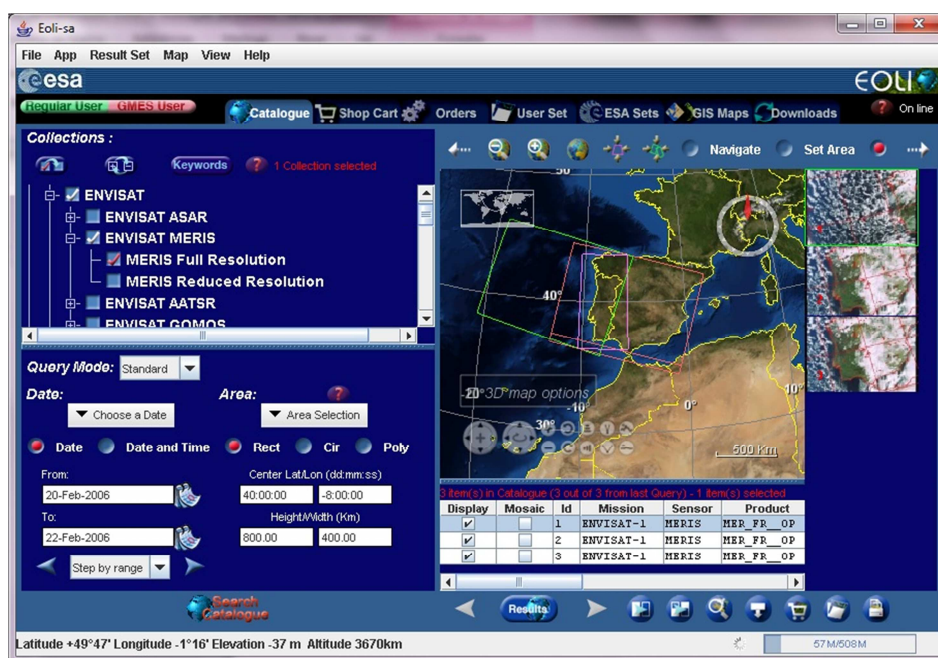


Figura 7: Ambiente gráfico do programa EOLi (versão 9.1.5).

Foi através deste programa que se solicitaram as imagens MERIS processadas pela ESA (com processamento nível três), e que foram utilizadas para validação dos dados *in-situ* e para comparação com os novos produtos.

Em relação às imagens processadas pelo PCC, elas estão disponíveis, de forma livre, através da página do Projeto, no entanto, se se pretender descarregar um número elevado de imagens (uma imagem, comprimida, pode ter 1 Gb ou mesmo mais), aconselha-se a que se efetue o registo (gratuito) na base de utilizadores, para se obter acesso ao servidor *FTP* que possui todas as imagens até agora processadas, de acordo com os modelos implementados (imagens L1P, L2R e L2W, de 2005 a 2012).

As imagens obtidas pelo EOLi (formato .N1, imagens originárias do ENVISAT) e pelo FTP do PCC (formato .gz), podem ser / foram lidas no BEAM – *Toolbox For Analysis and Processing of Earth Observation Data*, um programa (também) gratuito, desenvolvido pela equipa Brockmann Consult, que permite a leitura, análise e processamento de dados de imagem obtidos por satélites como o ENVISAT, ERS, ALOS, AQUA/TERRA, NOAA, LANSAT 5 e SPOT. (Figura 8).

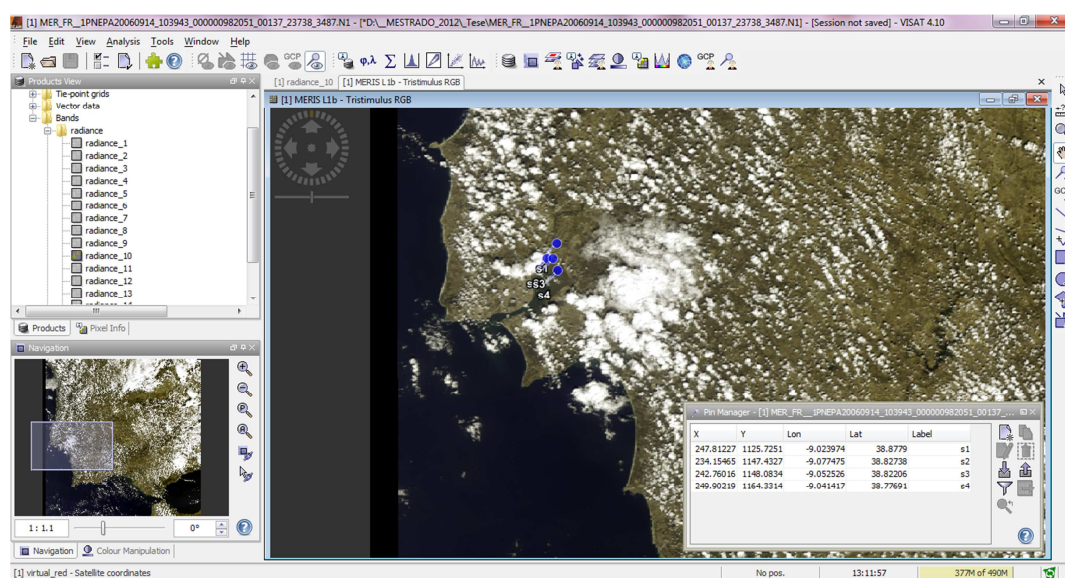


Figura 8: Ambiente gráfico do programa BEAM – VISAT (versão 4.10.).

O BEAM possibilita a leitura e edição de imagens de formato GeoTIFF, NetCDF e BEAM-DIMAP (que inclui a N1, ENVISAT) e apenas leitura de imagens tipo HDF-EOS. Por leitura, entende-se explorar toda a informação da imagem: visualizar graficamente os dados de cada variável, filtrar a informação de cada pixel, analisar histogramas, consultar e filtrar flags. Pode-se também extrair informação para outros formatos, por exemplo, para ficheiros CSV - *Comma Separated Value* (dados separados por vírgulas) e segundo determinadas condições, como

por exemplo: a partir de um certo conjunto de imagens, a extração de valores dos pixels que fazem parte de uma janela 5 por 5 em torno de um dado pixel/coordenada, com a condição dos pixels vizinhos serem todos água. Por editar entende-se selecionar/recortar áreas da imagem, fazer *thresholds* (cortes na informação dos histogramas), calcular e substituir valores por médias, medianas ou outras medidas, etc..

As imagens, compactadas, disponibilizadas pelo PCC, podem ser abertas pelo BEAM e o próprio programa descompacta-as e guardada a imagem em formato NetCDF.

Atualmente (desde 22 de junho de 2012), encontra-se disponível a versão BEAM-VISAT 4.10.3. Devido à dimensão de algumas imagens do PCC, é necessário editar o tamanho da memória BEAM disponível para a leitura de imagens. Na pasta *beam/bin*, edita-se o ficheiro “*visat.vmoptions*” (aberto em forma de txt), substituindo-se “Xmx1024M” por “Xmx3000M”, e é suficiente.

Foi através do BEAM que se leram e extraíram os valores dos produtos das imagens originárias do PCC, bem como dos produtos das imagens MERIS solicitadas à ESA. A informação extraída para análise foi o valor do pixel correspondente à sobreposição espacial entre imagem de satélite e local de recolha dos dados *in-situ* e a uma janela 3 por 3 em torno desse pixel. Os valores foram retirados para ficheiros CSV– *Comma Separated Value* (dados separados por vírgulas), e depois analisados no programa Microsoft Excel, do Microsoft Office 2010.

## **2.2. Dados *in-situ***

*In-situ* é uma expressão do latim que exprime “no lugar”. Dados da água recolhidos *in-situ* significa que são dados da água obtidos a partir da análise direta da mesma, seja no local onde a água se encontra, ou seja através da recolha de uma amostra de água e posterior análise em laboratório. No contexto deste trabalho existem dois conjuntos de dados *in-situ*: um destinado à base de dados do Projeto (BD\_PCC) e que dará origem à base de dados usada para validação interna dos modelos aplicados ao processamento das imagens MERIS (BDM\_PCC), e um outro conjunto de dados, mais restrito, que será aplicado na fase de validação dos novos produtos.

### 2.2.1. Dados *in-situ* para o Projeto CoastColour

Foram enviados para o projeto, por 21 *users* diferentes, mais de 200 ficheiros, com diversas extensões e organizações, com diferentes formatos de coordenadas/data e hora, (ou mesmo sem indicação destes parâmetros), com diferentes unidades para a mesma variável, variáveis repetidas ou com calibrações diferentes, dados recolhidos a diversas profundidades, dados sem indicação de profundidades, etc.. Por tudo isto, o processo de organização da BD\_PCC foi bastante complexo.

As coordenadas geográficas da localização da recolha dos dados *in-situ* foram uniformizadas para graus decimais no sistema WGS84 e a data e hora de recolha foram padronizadas para o sistema UTC, sistemas coincidentes com os registos das imagens MERIS. Foram ainda padronizadas as unidades de medida de uma mesma variável. Este processo de uniformização dos dados, obrigou à consulta dos diversos protocolos de cada processo de recolha/tratamento de dados, bem como, quando ainda existiam dúvidas, ao contato direto com os *users* para se esclarecerem as mesmas. Em simultâneo com a preparação da BD\_PCC, detetaram-se registos anómalos pelo que, durante este processo, foram eliminados valores, outros foram corrigidos com o envio de novos dados processados pelos *users* e alguns, que poderiam à partida ser considerados *outliers*, foram desde logo validados pelos seus responsáveis.

Os registos recebidos foram organizados em ficheiros Microsoft Excel (.xlsx), separados por *site* e agrupados em quatro categorias (por *sheets*), a saber: 1. *Metadata* (toda a informação acerca da localização da recolha da amostra como coordenadas geográficas, data, hora, profundidade de recolha, profundidade total, temperatura da água, etc.); 2. *Radiometric\_Data* (dados radiométricos: as radiâncias, irradiâncias e refletâncias medidas); 3. IOPs (os diversos coeficientes de absorção, difusão e retrodifusão) e 4. *Biogeochemical\_Optical\_Data* (dados óticos e bioquímicos: TSM, Clorofilas e outros pigmentos, salinidade, turbidez, nutrientes, etc.).

O *Site 1* (que engloba o Mar do Norte, o Mar Irlandês e o Mar Céltico, a Baía da Biscaia e o Oceano Atlântico até à longitude de 20° W e a Sul até aos 40° N, considerando assim a costa norte e centro de Portugal), é o *site* para o qual se recebeu mais dados para o Projeto, tendo sido nove as entidades que enviaram registos recolhidos *in-situ*: EMECO – *European Marine Ecosystem Observatory*, HZG-GKSS – *Helmholtz-Zentrum Geesthacht, Centre for Materials and Coastal Research*, IFREMER – *French Research Institute for Exploration of the Sea*, IOW – *Leibniz Institute for Baltic Sea Research Warnemünde*, MII – *Marine Institute of Ireland*, NIVA – *Norwegian Institute for Water Research*, PML – *Plymouth Marine Laboratory*,

UNICAN – *University of Cantabria*, e ainda também dados da base NOMAD (Figura 9 e Tabela 3).

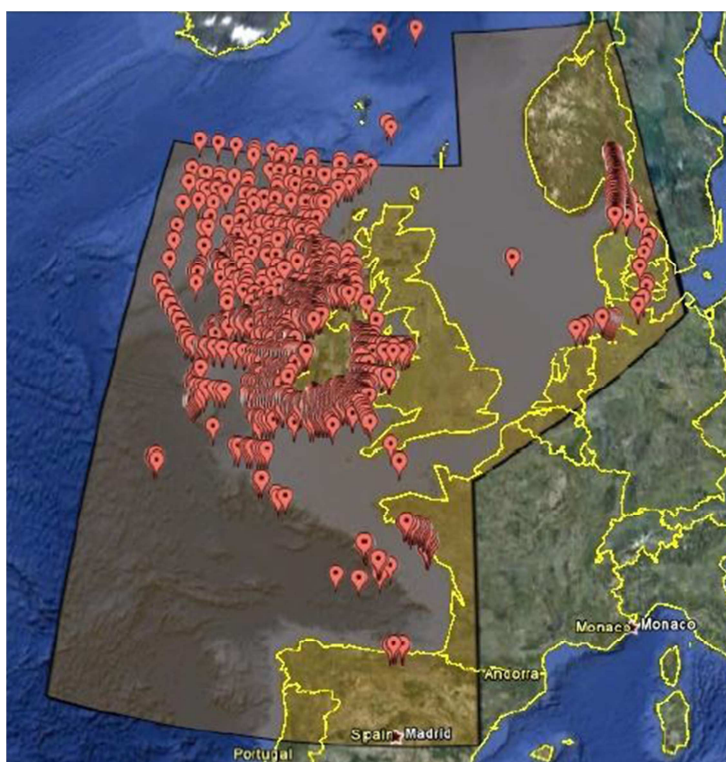


Figura 9: *Site 1* e localização dos pontos com informação na BD\_PCC [13].

Tabela 3: Resumo do número de dados enviados para o PCC, relativos ao site 1 [13].

Site1	TOTAL	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
EMECO	9473	856	1250	610	696	1024	741	1016	944	546	720	663	407
HZG-GKSS	48				4	12	5	11		6	10		
IFREMER	2162	99	96	107	148	243	372	295	212	193	198	110	89
IOW	2								2				
MII	3133	482	473	71	211	451	441	195	158	176	309	148	18
NIVA	1259616	73062	73628	84009	84107	220896	113705	104046	112972	97826	107730	95722	91913
NOMAD	6										6		
PML	218	16	20	20	20	18	23	19	17	23	19	13	10
UNICAN	28							28					
2005	262770	375	476	257	13095	28893	35070	35274	30609	24999	29742	31492	32488
2006	337016	29418	25827	29898	27737	30140	33641	35029	27209	29628	29400	19748	19341
2007	300196	31504	21088	23249	20135	32754	28838	13498	25381	37121	31158	24947	10523
2008	373191	13108	27761	31359	24076	130620	17515	21695	31038	6941	18597	20417	30064
2009	1076	107	188	25	59	108	200	72	68	81	95	52	21
2010	437	3	127	29	84	129	23	42					
TOTAL	1274686	74515	75467	84817	85186	222644	115287	105610	114305	98770	108992	96656	92437

A outra metade da Costa Nacional continental (costa sul e sudoeste), assim como a Costa da Madeira e parte da Costa dos Açores (exceto o Corvo e as Flores), encontram-se no *site 4*, que engloba também as ilhas Canárias e a Costa de Marrocos. Para este *site* há dados de apenas dois users: NOMAD e CSIC - *Instituto de Ciencias Marinas de Andalucia* (Figura 10).



De referir que não há nenhum *user* português nesta contagem, bem como não há dados *in-situ* na BD\_PCC sobre a nossa Costa.



Figura 10: Site 4 e localização dos pontos com informação na BD\_PCC [13].

Os dados disponibilizados para o site 1 pelo *user* NIVA (98,8% dos registos candidatos a *matchups* do site 1), foram recolhidos nas regiões do Fiord de Oslo e Skagerrak (estreito do Mar do Norte, situado entre o Sudeste da Noruega, Sudoeste da Suécia e a Norte da Dinamarca), entre 6 de janeiro de 2003 e 30 de dezembro de 2008, através de uma *ferrybox* colocada a bordo dos designados “navios de oportunidade” (*ships of opportunity*) que, neste caso, foram o *Color Festival*, o *Prinsesse Ragnhild* e o *Color Fantasy* [13]. Este método (*ferrybox*, Figura 11), permite a recolha automática de dados oceanográficos enquanto o navio que suporta a instrumentação efetua a sua viagem normalmente e, por isto, possibilita uma melhor relação quantidade de dados / tempo / custos: são efetuados mais registos, em menos tempo que os dados recolhidos “à mão”, e deixa de ser necessário planear campanhas exclusivamente dedicadas à recolha de dados *in-situ*. Têm também vantagens em relação às boias fixas dado que não são necessárias viagens de/para manutenção, a recolha de dados é menos afetada em relação a movimentos hostis das ondas e correntes locais, e não há o risco de *biofouling* (acumulação de microorganismos, algas ou animais nas estruturas, que por vezes levam à degradação do aparelho) [14]. De referir que os dados NIVA, valores de Chl-a total (t\_ChI-a, Clorofila a obtida pelo método HPLC – *High-performance Liquid Chromatography*), turbidez em unidades FNU (*Formazine Nephelometric Units*) e F(z) (perfil da

intensidade da fluorescência no local), foram testados e validados pelo *user* antes do seu envio para o PCC.

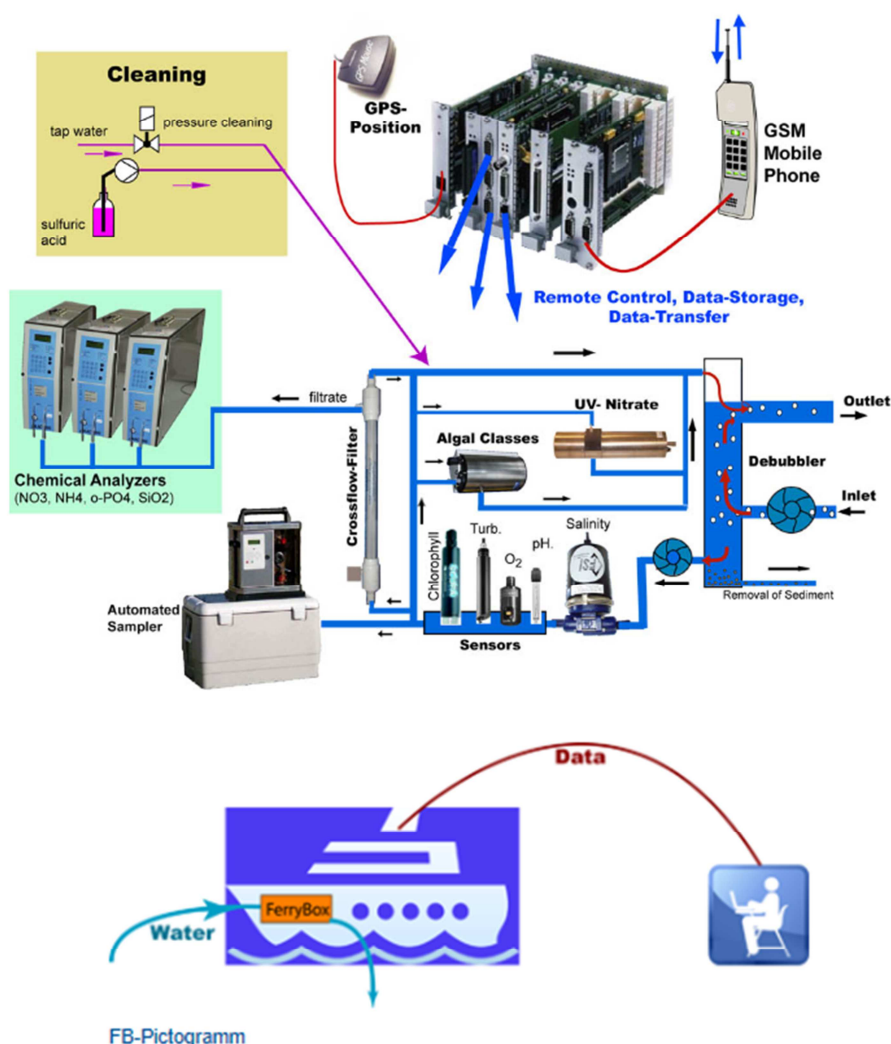


Figura 11: Estrutura de uma FerryBox alemã [14] (em cima) e esquema do seu posicionamento a bordo do navio (em baixo).

Os dados do *user* EMECO, também para o *site* 1, foram extraídos através do seu site [www.emecodata.net/](http://www.emecodata.net/), a 15 de dezembro de 2010, no entanto apresentam uma falha grave (resultante do sistema de disponibilização de dados por parte da instituição): as coordenadas geográficas disponíveis apresentam apenas uma casa decimal. À latitude / longitude dos dados recolhidos – Mar Celta e Golfo da Biscaia – uma diferença de 0,1° nas coordenadas, corresponde a um desfasamento de localização superior a 11 km em latitude e a 7 km em longitude, pelo que dificilmente estes dados contarão para a base de dados final de *matchups* do Projeto (só com informação até às décimas de milésimas, erro  $<0,001^\circ$ , é que se consegue um erro de latitude inferior a 11 m e/ou um erro de longitude inferior a 7 m, respetivamente,

erro de cerca de 3,7 % e 2,3 % na representação do pixel da imagem de satélite utilizada, 300x300 m). A Tabela 4 apresenta um resumo das variáveis chave disponíveis por cada *user* para o site 1 e na Tabela 5 encontra-se a síntese das metodologias aplicadas para a obtenção destes produtos.

Tabela 4: Resumo dos produtos chave enviados para o PCC, relativos ao site 1.

User	Parametros chave	Notas
EMECO	Chl-a	Os dados são a média por hora
HZG-GKSS	Rrs, TSM, ISM, OSM e t_ChI-a	
IFREMER	ChI-a, TurbNTU e turbFNU	
IOW	ap, aph, ad, ag, TSM e ChI-a	
MII	N/A	
NIVA	t_ChI-a, turbFNU e F(z)	Todos os dados haviam sido já controlados/validados pelo <i>user</i> ; F(z) pode ser utilizado como aproximação do valor da ChI-a
NOMAD	Kd, Lw, ap, ad, bb, bbr, ChI-a, t_ChI-a, POC, z_37, z_10 e z_01	
PML	ag, ap, aph, ad, TSM, t_ChI-a e F(z)	'11:00' é uma hora de recolha estimada
UNICAN	Profundidade da água e da medição da amostra; secchi depth, TSM, ChI-a e Turbidity FTU (como FNU).	

Tabela 5: Resumo das metodologias aplicadas na recolha dos dados enviados para o PCC, relativos ao site 1 [13].



User	Chl-a	Iw	Rrs	abs
EMECO	Métodos fluorimétrico e fluorescência <i>in vivo</i>	N/D	N/D	N/D
HZG-GKSS	HPLC	N/D	à superfície da água, $z45^{\circ}$ a $135^{\circ}$ 1* TriOS RAMSES	N/D
IFREMER	Método fluorimétrico	N/D	N/D	N/D
IOW	Método fluorimétrico	N/D	N/D	$a_p$ , $a_d$ e $a_{ph}$ : por filtragem ( $\beta=2.0$ , <i>ESA-Validation Protocol</i> ), filtros de 0,25 mm; $a_g$ : filtro GF/F em 2007 e 0.2 $\mu m$ em 2009
MII	N/D	N/D	N/D	N/D
NIVA	HPLC	N/D	N/D	N/D
NOMAD	Métodos fluorimétrico e HPLC	Dados recolhidos por diferentes users relativos ao projeto NOMAD		Dados recolhidos segundo o protocolo OBPG <sup>1</sup>
PML	HPLC (acetona, sonorização por 30 s e centrifugação por 5 min a 4000 rpm <sup>2</sup> )	N/D	N/D	WETLabs ac-9+
UNICAN	MET APHA 10200H	N/D	N/D	N/D

<sup>1</sup> Descrito em: P. Werdell, "An evaluation of Inherent Optical Property data for inclusion in the NASA bio-Optical Marine Algorithm Data set", versão 1.3 da NOMAD, 19 de setembro de 2005.

<sup>2</sup> rpm – rotações por minuto

Tabela 6: esumo do número de dados enviados para o PCC, relativos ao site 4 [13].

Site4	TOTAL	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
NOMAD	3										3		
CSIC	686	45	69	56	71	83	47	55	30	64	55	60	51
2005	206					30	22	38		30	28	30	28
2006	324	15	40	27	28	30	25	17	30	29	30	30	23
2007	148	30	29	29	37	23							
2008	11				6					5			
TOTAL	689	45	69	56	71	83	47	55	30	64	58	60	51

Em relação ao *site 4*, de registar que o *user* CSIC efetuou campanhas em Espanha, próximas à Costa Sul de Portugal, entre os dias 23 de maio de 2005 e 27 de setembro de 2008 (Tabela 6). As variáveis chave disponibilizadas pelo CSIC estão descritas na Tabela 7. De referir que foram efetuadas recolhas de água a 5 m de profundidade e para obtenção dos valores de Chl-a, foram recolhidas amostras de 500 ml para obtenção da Clorofila total e de 3 l para testes de valores de Chl-a acima dos 0,02 mg/l. Foi aplicado o método fluorimétrico [15].

Tabela 7: Resumo dos produtos chave enviados para o PCC, relativos ao *site 4* (adaptado de [13]).

User	Parametros chave	Notas
NOMAD	Kd, Lw, Es, ap, ad, Chl-a, t_Chla, kpar, POC, z_37, z_10 e z_01	
CSIC	TSM, SIPM, SOPM, turbFTU, CDOM fluorescence, Chl-a e F(z)	Dados recolhidos a 5 m de profundidade; dados validados pelo <i>user</i>

Para mais informações acerca dos *users* que forneceram dados ao projeto, das variáveis disponíveis por *site* e das metodologias aplicadas na recolha desses mesmos dados, deve-se consultar o documento do Projeto “*DUE CoastColour Technical Note CoastColour in-situ database*”, elaborado ao longo deste trabalho pela equipa do CO, em conjunto com a equipa Brockmann Consult [13].

### 2.2.2. Dados *in-situ* para validação

Os dados do Estuário do Tejo, utilizados neste trabalho para validação dos produtos PCC, fazem parte da base de dados recolhidos para o projeto da empresa Valor Sul, S.A., realizado e levado a cabo no CO. Esta base de dados conta com registos (quase) mensais, desde 1999, recolhidos sempre da parte da manhã, aquando da maré cheia e em alturas do mês de maré morta (*neap tide*). Em cada campanha, que passa por quatro pontos do Estuário (Figura 12) onde a profundidade média é inferior a 18 m (Figura 6), foram recolhidas amostras de água a cerca de 1 m de profundidade, sendo que parte dessas amostras são colocadas diretamente em frascos destinados a análises específicas e a outra parte vai para um bidão de 25 l, que depois (em laboratório) é dividida e analisada de diferentes formas para obtenção de concentrações de produtos como Chl-a, Feopigmentos, Chl-a por HPLC (método de determinação de Chl-a, *High Performance Liquid Chromatography*), TSM, nutrientes, ph da água, etc..

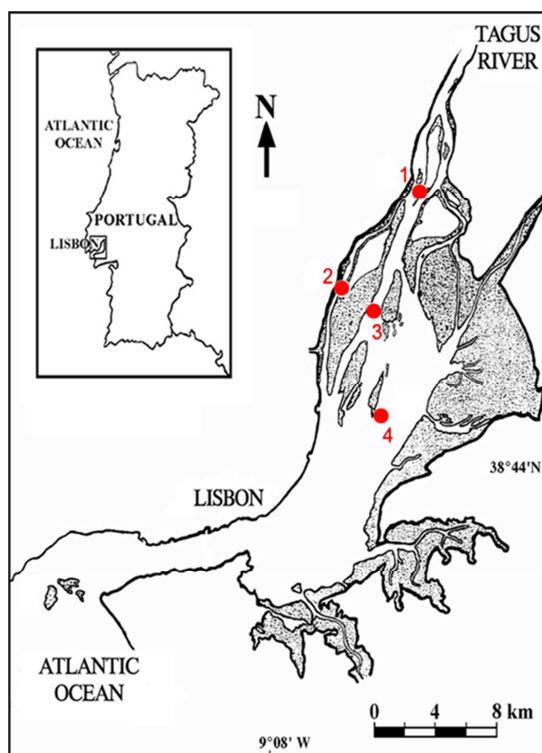


Figura 12: Localização das estações de recolha de dados do projeto Valor Sul [12].

A determinação da concentração de Clorofila-a e dos Feopigmentos é efetuada num espectrofotómetro Shimadzu (UV-1603) e segundo o método de C. Lorenzen (1967, *Determination of chlorophyll and phaeopigments: spectrophotometric equations*. Limnol. Oceanogr. 12:

343-346.). Para mais pormenores sobre as metodologias aplicadas para determinação das concentrações de variáveis do Projeto Valor Sul pode-se consultar as referências [16] e [17].

Os novos produtos do PCC foram também comparados com os dados da maré de Lisboa, obtidos através do site <http://enggeografica.fc.ul.pt/>, onde se encontram tabelados dados de marés para todos os portos Portugueses. Os dados utilizados foram gerados pelo Modelo de Previsão de Marés da FCUL, a cargo do Departamento de Engenharia Geográfica, Geofísica e Energia (DEGGE). Este modelo recorre aos dados de maré previstos pela Administração do Porto de Lisboa / Instituto Hidrográfico e aos dados de pressão atmosférica do Instituto Geográfico Português, para modelar as horas e alturas exatas da movimentação da água, em particular da maré alta e da maré baixa (dados revistos em 2010 e com precisão média de 2-3 cm e 3 minutos).

Devido aos elevados movimentos de massa de água no Estuário e à sua possível influência na medição de concentrações de produtos, recorreu-se também a dados sobre o caudal no Tejo e analisou-se a sua influência nos produtos das imagens MERIS. Para tal procedeu-se à recolha de informação dos registos de caudal médio diário ( $m^3/s$ , de 2006 a 2009) sobre a estação hidrológica de Almourol (17G/02H, entretanto desativada), através do site do SNIRH - Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos (<http://snirh.pt>).

### **2.3. Processamento de imagens MERIS pelo Projeto CoastColour**

A primeira abordagem do PCC às imagens MERIS L1b traduz-se pela aplicação de correções na georreferenciação, utilizando a ferramenta AMORGOS (*Accurate MERIS Ortho-Rectified Geolocation Operational Software* – correções de latitude, longitude e altitude), que permite a correção das coordenadas de cada pixel, ficando agora com um erro de posicionamento inferior a 77 m quando, no início da missão ENVISAT, o erro de localização poderia chegar aos 2 000 m e atualmente no Nadir, a diferença poderia atingir os 150 m [18]. Depois deste acerto de coordenadas, é necessária a consequente correção da caracterização dos pixels como terra ou água e linha de costa (ou não). Ainda no início do processamento do PCC, ao contrário do que acontece nas imagens L1b, foi efetuada a correção do efeito *Smile* (derivada da sobreposição das diferentes imagens captadas pelos CCDs – referenciada como *flag*), indicada a presença, ou não, de nuvens e/ou gelo sobre o pixel (*flags*) e, principalmente, foi realizada uma nova calibração radiométrica, para uma melhor correção atmosférica. Esta correção é considerada como um dos passos fundamentais do processamento das imagens de satélite, uma vez que a radiância no topo da atmosfera (TOA) deve ser (bem) identificada e não confundida com a radiância da superfície da água, dado que é sobre esta última que se

aplicam a maior parte dos algoritmos para identificação dos constituintes da água. Assim, após todo este processo, obtêm-se as designadas imagens L1P, os primeiros produtos do PCC. As imagens L2 do PCC (obtidas a partir das L1P anteriores), estão separadas em dois grupos e são processadas pela seguinte ordem: primeiro as imagens L2R, que contêm os dados radiométricos (R de “Radiometric”), sendo a variável mais relevante a refletância da radiação que sai da água, RLw, e sobre estas são processadas as imagens L2W (W de Water) que contêm os valores dos produtos geofísicos da água, como os IOPs, as concentrações de produtos como Chl-a e TSM,... Em cada processo, são acrescentadas as *flags* necessárias às *flags* anteriores. Todo o procedimento e o tipo de modelos aplicados em cada nível de processamento das imagens MERIS, estão descritos na documentação de apresentação do Projeto, *DUE CoastColour, Volume 1 Technical Proposal*, setembro de 2009, e em *DUE Coastcolour Product User Guide Deliverable DEL-21*, junho de 2011 [19]. A Figura 13 ilustra o esquema de processamento das imagens MERIS aplicado pelo PCC.

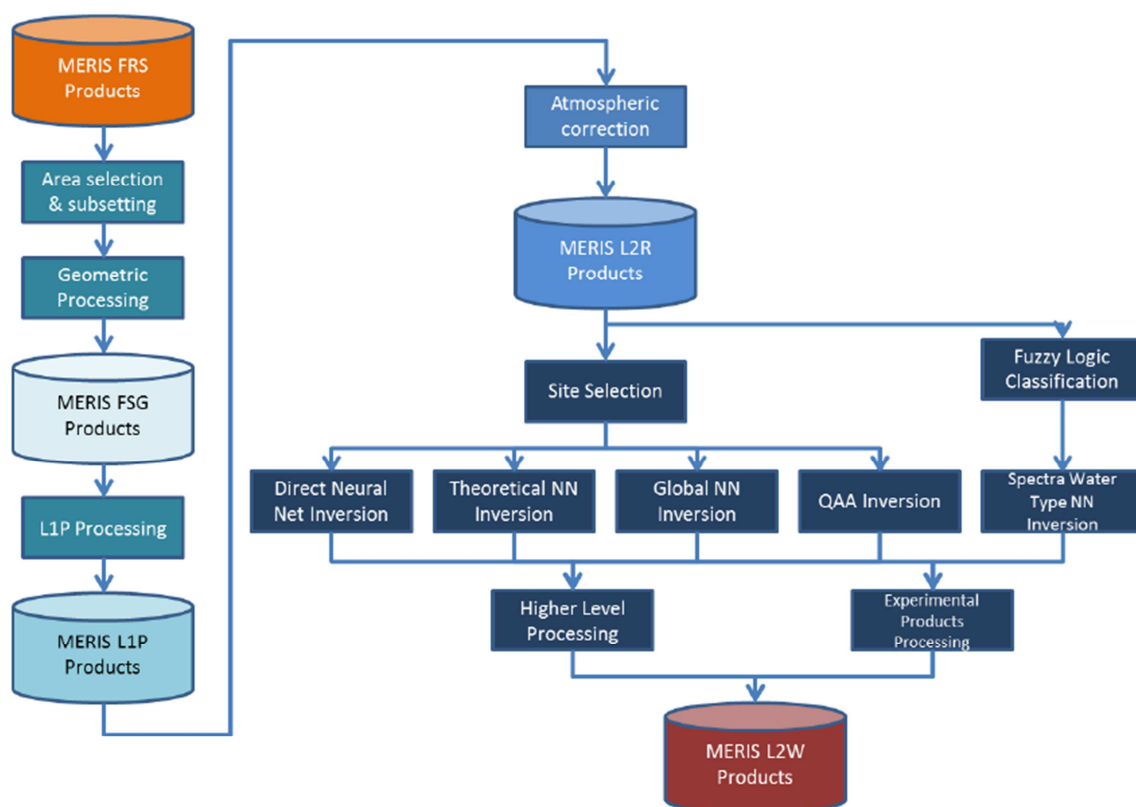


Figura 13: Esquema do Processamento das imagens MERIS pelo PCC [19].

Note-se que a identificação das imagens resultantes dos modelos aplicados pelo PCC é diferente da identificação das imagens processadas pela ESA. Em vez de

“MER\_XXX\_YZpGGG (...).N1”

a designação tradicional, a expressão geral das novas imagens resultantes do PCC é:

“MER\_FSG\_CCZZZ\_ (...).nc”

onde FSG significa que os dados processados representam a faixa completa de leitura do satélite, mas já com correção de coordenadas segundo o AMORGOS (*Full Swath Geo-located*); têm a designação CC para estarem associadas ao Projeto CoastColour e ZZZ representa o nível de processamento da imagem que, neste caso, pode ser L1P, L2R ou L2W. De notar ainda que o PCC trabalha as imagens de modo a estarem disponíveis em formato ‘.nc’, NetCDF – *Network Common Data Form*, interface utilizado para a leitura de matrizes de dados orientados e que inclui bibliotecas de apoio. Trata-se do formato mais utilizado atualmente pelos investigadores em novas missões e por isso com um grau de utilidade maior, quer para comparação de dados no futuro quer atualmente, devido ao facto de permitir uma leitura e manuseamento mais acessíveis em diversos programas de linguagem Java, IDL ou mesmo MATLAB®

## **2.4. Modelos e Algoritmos para determinar a concentração de Chl-a e TSM a partir de Produtos MERIS**

A partir das imagens MERIS é possível obter informação acerca de diversos parâmetros relativos à água, terra e ar. No entanto, existem algoritmos diferentes para a determinação desses parâmetros, dependendo do tipo de elemento em estudo, bem como da própria zona de estudo. Por exemplo, os modelos para a estimativa da concentração de Clorofila-a são diferentes se aplicados sobre um pixel classificado como terra ou água e, na água, o modelo também difere caso se trate de uma zona costeira ou em alto mar. Para os valores de concentração de partículas em suspensão, TSM, os modelos são alheios em relação à zona de observação da água.

Comumente, separam-se as águas da superfície terrestre (oceânica) em dois grupos: num grupo, constam as águas que estão em oceano aberto, em zonas de maior profundidade, com pouca interferência por parte dos efeitos das ondas à superfície ou da batimetria e onde as propriedades óticas são determinadas essencialmente por um componente: o fitoplâncton, são as designadas águas tipo 1; do outro grupo, fazem parte os rios, lagos, albufeiras e as águas

das zonas costeiras, com profundidades tipicamente inferiores a 50 m, com forte atividade das ondas de superfície e muito influenciadas pelos ventos e marés, e possivelmente com rios a confluir nas proximidades, onde existem três componentes óticas marcantes: a Clorofila-a (pigmento principal do fitoplâncton), a substância amarela e os sedimentos em suspensão [1], são as designadas águas tipo 2. O Projeto CoastColour teve como objetivo o desenvolvimento de novos modelos aplicados às imagens MERIS, para melhorar a determinação dos valores de diversas variáveis em águas tipo 2.

Se nas águas tipo 1 a presença de Chl-a é a responsável (quase) única pelas diferentes propriedades óticas da água, nas águas tipo 2 a presença dos outros elementos influencia as propriedades da água tanto ou mais que a própria Chl-a, sendo que cada um tem características diferentes. A substância amarela é essencialmente absorvente, possuindo assim pouca capacidade de refletância, enquanto que, por outro lado, os sedimentos são corpos com forte componente de dispersão (refletâncias elevadas) [20].

A designação típica, quando se falam de produtos de Chl-a obtidos através das imagens MERIS segundo os modelos da ESA, é *algal\_1* e *algal\_2*, de acordo com a concentração de Chl-a extraída sobre águas tipo 1 ou tipo 2, respetivamente. Além dos modelos da ESA, muitos investigadores recorrem aos produtos MERIS, explorando assim ainda mais as informações captadas remotamente por este sensor e aprimorando, a nível regional, os resultados deste. Os produtos base a que estes investigadores recorrem para o desenvolvimento dos seus algoritmos variam, podendo ser diretamente os produtos finais (*algal\_1* ou *algal\_2* para Chl-a e *total\_susp* para o TSM), ou então recorrem às refletâncias do processamento L2 ou mesmo às radiâncias do nível L1.

De seguida, descrevem-se alguns dos algoritmos aplicados aos produtos MERIS, em particular os aplicados neste estudo para validação dos produtos resultantes do Projeto CoastColour. É descrito, sucintamente, o modelo aplicado pela ESA para obtenção de valores de Chl-a e TSM, o modelo *Ocean Colour* (OC) desenvolvido para o sensor SeaWiFS, bem como o modelo desenvolvido no Projeto CoastColour. São também apresentados alguns algoritmos regionais, resultantes do trabalho dos investigadores Moses, Gitelson e Gilerson ([25] e [26]), Gons ([27]) e Nachad e Ruddick ([8], [31] e [32]).

#### **2.4.1. Modelos MERIS da ESA (MERIS ESA): *algal\_2* e *total\_susp***

Atualmente é aplicado às imagens MERIS um modelo que permite a determinação de valores de concentração de três componentes, permitindo depois a dedução da concentração da Chl-a (*algal*, que no caso deste estudo, interessa o “*algal\_2*” - modelo sobre zonas costeiras), a

concentração de matéria particulada em suspensão (“total\_susp”) e a absorção da substância amarela (“yellow\_subs”) no comprimento de onda 440 nm. O ponto de partida necessário para a determinação qualquer produto, antes da aplicação de qualquer modelo, é a correção atmosférica da imagem. Este é considerado o passo mais delicado no tratamento de qualquer imagem de satélite. Devido a elementos como as nuvens, a chuva, os ventos, a poluição, etc., a atmosfera tem cerca de 90 % de influência no sinal total da radiância que chega ao sensor [21], pelo que é fundamental uma correção eficiente do efeito deste sinal. A questão fulcral deste passo coloca-se no facto de, enquanto que nas águas tipo 1 a radiância recebida pelo satélite se deve essencialmente à radiância da atmosfera, sobre águas costeiras (águas tipo 2), a radiância recebida deve-se também ao efeito de *backscattering* (retrodifusão) da luz sobre as partículas em suspensão, mais frequentes neste tipo de águas. Para uma análise à metodologia da correção atmosférica pode-se consultar, por exemplo, “*Atmospheric correction algorithm for MERIS above case-2 waters*”, de Schroeder, Doerffer et al (International Journal of Remote Sensing, Vol.28, M.7, abril de 2008, 1469-1486).

O modelo aplicado pela ESA no processamento das imagens MERIS para obtenção de valores de concentração de Chl-a e TSM sobre a água, baseia-se no modelo inverso de transferência radiativa (*Inverse Radiative Transfer Model* - IRTM), onde os conjuntos de dados para treino e testes são gerados por processos de simulações de Monte Carlo. Com base neste modelo, que gera três componentes *output*, Roland Doerffer e Jürgen Fischer (GKSS) desenvolveram um outro, em que se extrai também informação sobre a concentração de aerossóis (*aerossol path radiance*) e a determinação deste produto no processo, inclui a própria correção atmosférica, por isso são quatro passos em apenas um processo. Devido à complexidade e morosidade deste modelo, optaram pela parametrização do mesmo através do método de regressão múltipla não linear, as designadas redes neuronais (NN, *Neural Network*), obtendo-se assim o modelo IRTM-NN (*Inverse Radiative Transfer Modelling Technique with Neural Network parametrisation*).

Assim, para aplicação do modelo IRTM-NN às imagens MERIS, são necessários 11 parâmetros *input*: oito refletâncias direcionais das radiâncias da água, nas bandas com comprimentos de onda dos 442 nm aos 665 nm e nos 709 nm, ou seja, das bandas 2 a 7 e da banda 9; e também as medidas de três ângulos fundamentais: o ângulo zénite em relação ao ângulo de observação ( $\theta_v$ ), a diferença do azimuth de observação em relação ao azimuth do Sol ( $\Delta\phi_v$ ) e o ângulo zénite solar ( $\theta_s$ ) (Figura 14). Como output deste modelo tem-se 1) o coeficiente de absorção do fitoplanton  $a_{pig}$ , que permite a determinação da concentração de Chl-a, sendo:

$$algal_2 = 21 \times a_{pig}^{1,04}$$



2) o valor do coeficiente de dispersão total  $b_b$ , que permite obter o valor da concentração de TSM pela fórmula:

$$total\_susp = 1,73 \times b_b$$

e ainda 3) a concentração de substância amarela  $yellow\_subs$ , permitindo determinar a absorção total da água:

$$a_{tot} = a_{pig} + yellow\_subs$$

Para ambas as fórmulas existe a função inversa, fundamental ao funcionamento do próprio modelo [22].

De relembrar que as refletâncias fornecidas nas imagens MERIS L2 (comumente representadas por  $\rho_w$ ), permitem a extração simples do valor da refletância remota  $Rrs$  ( $\rho_w = \pi \times Rrs$ ).

Para se obter uma descrição mais pormenorizada deste modelo IRTM-NN, pode-se consultar o documento elaborado em 1997 por Roland Doerffer e Helmut Schiller ([21]), cujo objetivo era exatamente o de explicar os princípios do algoritmo que iria ser aplicado às imagens MERIS do satélite ENVISAT que, na altura, ainda não tinha sido colocado em órbita.

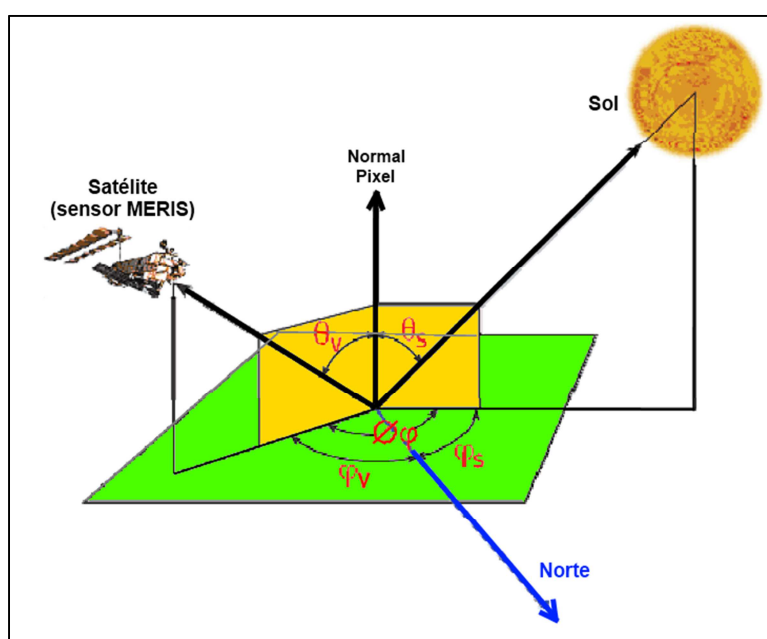


Figura 14: Geometria dos ângulos de iluminação e observação do sensor MERIS [5].

## 2.4.2. Modelos OC2 e OC4

Os modelos *Ocean Colour* OC2 e OC4, apesar de terem sido desenvolvidos para determinar a concentração de Clorofila-a recorrendo à informação do sensor SeaWiFS (*Sea-viewing Wide Field-of-view Sensor*, a bordo do satélite SeaStar, com resolução espacial de 1,1 km e oito bandas nos comprimentos de onda entre os 400 e os 885 nm), e para águas tipo 1, são diversas vezes aplicados ao sensor MERIS (existindo mesmo fórmulas próprias para as bandas MERIS), e por isso foram testados neste estudo. A versão 4, OC2\_v4 e OC4\_v4 (desenvolvida em 2000), que tem sido a mais aplicada nos últimos estudos da comunidade científica, contou no seu desenvolvimento com uma base de dados com grande percentagem de registos sobre águas oligotróficas, ou seja, zonas pobres em nutrientes, com valores de Chl-a tipicamente inferiores a  $2,5 \text{ mg/m}^3$  [23]. Assentam na utilização de equações de terceiro e quarto grau (respetivamente OC2 e OC4), onde a variável da equação representa o logaritmo base 10 da razão entre refletâncias medidas pelo sensor do satélite da banda espectral do azul, pelas da banda espectral do verde. No caso do OC2, recorre-se apenas ao quociente direto entre duas refletâncias (na banda dos 490 e 555 nm), no OC4 considera-se o logaritmo base 10 do maior quociente entre três razões de refletâncias entre as bandas azuis 443, 490 e 510 nm, e a banda verde dos 555 nm (estão, portanto, envolvidas quatro bandas). Para este estudo o comprimento de onda 555 nm foi substituído pelo 560 nm, e assim foram aplicados os modelos OC2\_v4, OC4\_v4 e também o modelo OC4E\_v4, desenvolvido para ser aplicado diretamente sobre as bandas do sensor MERIS:

$$Chla_{OC2\_v4} = 10^{[0,319 - 2,336R_2 + 0,879R_2^2 - 0,135R_2^3]} - 0,071$$

$$Chla_{OC4\_v4} = 10^{0,366 - 3,067R_4 + 1,930R_4^2 + 0,649R_4^3 - 1,532R_4^4}$$

$$Chla_{OC4E\_v4} = 10^{0,368 - 2,814R_{4E} + 1,456R_{4E}^2 + 0,768R_{4E}^3 - 1,292R_{4E}^4}$$

onde:

$$R_2 = \log_{10}(R_{560}^{490}) ,$$

---

<sup>1</sup> Existem ainda zonas mesotróficas: Chl-a entre os 2,5 e os 15  $\text{mg/m}^3$  e zonas eutróficas: valores de Chl-a superiores a 15  $\text{mg/m}^3$ .

$$R_4 = \log_{10}(\max\{R_{555}^{443}; R_{555}^{490}; R_{555}^{510}\}) ,$$

$$R_{4E} = \log_{10}(\max\{R_{560}^{443}; R_{560}^{490}; R_{560}^{510}\}) ,$$

$$R_{560}^{490} = \frac{Rrs_{490}}{Rrs_{560}}$$

e

$$Rrs_{zzz} = \frac{RLW_{zzz}}{\pi} .$$

(Neste estudo, portanto,  $R_4 = R_{4E}$ ).

Devido à atualização, em 2010, da base de dados *in-situ* utilizada para o desenvolvimento destes modelos (a base de dados da NOMAD), há uma nova versão OC2 e OC4, designada versão 6<sup>1</sup>. Os coeficientes  $a_i$  ( $i \in \{0,1,2,3,4\}$ ) atualizados para a expressão geral:

$$Chla_{OCX_v6} = 10^{a_0 + a_1 R_X + a_2 R_X^2 + a_3 R_X^3 + a_4 R_X^4}$$

onde  $X \in \{1,2\}$ , são:

$$\text{OC2: } (a_0, a_1, a_2, a_3) = (0,2236; -1,8296; 1,9094; -2,9481; -0,1718),$$

$$\text{OC4: } (a_0, a_1, a_2, a_3) = (0,3272; -2,9940; 2,7218; -1,2259; -0,5683),$$

$$\text{OC4E: } (a_0, a_1, a_2, a_3) = (0,3255; -2,7677; 2,4409; -1,1288; -0,4990).$$

### 2.4.3. Modelos do Projeto CoastColour: conc\_chl e conc\_tsm

O PCC aplicou diversos modelos às imagens L2R para obter a concentração de vários constituintes misturados na água do mar. Para determinar os valores de concentração de TSM e Chl-a foi efetuada uma conversão, respetivamente, dos valores de  $b_{\text{total}}$  e  $a_{\text{pig}}$  que, por sua vez, foram determinados a partir de dois modelos diferentes [19] Um modelo é idêntico ao utilizado pela ESA, a técnica de modelação inversa IRTM-NN (desenvolvido no centro GKSS),

<sup>1</sup> <http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/REPROCESSING/R2009/ocv6/>

mas, agora recorre a uma NN artificial e a 12 das 15 bandas MERIS. O outro modelo é baseado no QAA - *Quasi Analytical Algorithms*, que se distingue do anterior por determinar as propriedades óticas (os coeficientes de absorção total e difusão de partículas), nível a nível, em vez de obter os valores de uma só vez (como pela NN). O modelo QAA aplicado é baseado no relatório 5 do IOCCG (*International Ocean Colour Coordinating Group*<sup>1</sup>) e encontra-se descrito por Zhongping Lee, *et al*, em “*Deriving inherent optical properties from water color: a multiband quasi-analytical algorithm for optically deep waters*” (setembro de 2002). Mais informações sobre o processamento das imagens MERIS pelo PCC podem ser encontradas na documentação do Projeto (DUE CoastColour) como em [19].

De notar que existem então três conjuntos de imagens/produtos Chl-a e TSM processados pelo PCC, e analisados neste trabalho: primeiro foi processado segundo o modelo NN, designados neste trabalho por produtos CCMERIS, posteriormente processados segundo o modelo QAA, aqui designados por CCMERIS\_QAA e, finalmente, um novo processamento segundo a NN, agora designados por CCMERIS\_FP.

#### **2.4.4. Outros Algoritmos**

A aplicação de diferentes algoritmos na determinação de concentrações de Chl-a e TSM a partir das refletâncias, pode ajudar a determinar causadores de possíveis diferenças que existam entre dados medidos *in-situ* e valores de concentração determinados pelos modelos de processamento das imagens de satélite. As diferenças podem ser atribuídas ao modelo final de determinação das concentrações, ou podem ser derivadas de processamentos efetuados anteriormente às imagens, por exemplo a uma correção atmosférica ineficiente [24].

Segue a descrição de alguns algoritmos, desenvolvidos por diferentes investigadores, e aplicados neste trabalho à análise dos produtos RLw CCMERIS e CCMERIS\_FP (os produtos L2R do processamento CCMERIS\_QAA são os mesmos do processamento CCMERIS inicial).

##### **2.4.4.1. Moses, Gitelson e Gilerson**

Wesley Moses e Anatoly Gitelson, recorrendo às refletâncias captadas pelo sensor MERIS nos comprimentos de onda da zona do vermelho e do infra vermelho próximo (a partir dos 650 nm), desenvolveram em 2009 dois algoritmos com o intuito de determinar remotamente, a concentração de Chl-a em zonas estuarinas e sobre águas costeiras turvas. Para tal,

---

<sup>1</sup> IOCCG: é um grupo internacional de especialistas da Cor do Oceano, que cria conexões entre as agências, que detêm as imagens de satélite, e os *users* (cientistas, investigadores) que utilizam os produtos das imagens, desenvolvendo um conjunto de procedimentos/protocolos que devem ser seguidos por ambas as partes, promovendo assim o consenso científico.

---

recorreram (também) a dados *in-situ*. Os dados foram recolhidos na Baía de Taganrog e no Mar de Azov, entre a Rússia e a Ucrânia. Para calibração dos modelos Moses e Gitelson usaram os dados de Chl-a e TSM recolhidos em quatro campanhas no ano de 2008 (realizadas em abril, julho, setembro e outubro), e para validação usaram os dados de uma campanha realizada em março de 2009. Quanto aos dados usados para calibração, recolhidos sobre 18 estações, os valores *in-situ* de Chl-a variaram entre os 0,63 e os 65,51 mg/m<sup>3</sup>, sendo o valor médio de concentração de 26,97 mg/m<sup>3</sup>. Relativamente aos dados das (8) estações usadas para validação, a chl-a variou entre os 18,37 e os 47,86 mg/m<sup>3</sup> e a média foi de 28,56 mg/m<sup>3</sup>. A concentração de partículas em suspensão, no global, encontrou-se no intervalo entre os 0,4 e os 27,4 mg/l.

Aquando da verificação de *matchups* entre dados recolhidos *in-situ* e imagem de satélite, um dos critérios foi o afastamento do pixel (correspondente à localização *in-situ*), em relação à linha de costa: teria de haver uma distância mínima de dois pixels. Em [25] é possível encontrar a descrição completa do estudo e as conclusões retiradas. Os algoritmos desenvolvidos foram:

$$Chla_{2b} = 61,324 \times R2 - 37,94$$

$$Chla_{3b} = 232,329 \times R3 + 23,174$$

onde os subscritos *2b* e *3b* nas equações acima correspondem a “duas” e “três” bandas, respetivamente, sendo

$$R2 = Rrs_{665}^{708}$$

(duas bandas MERIS centradas nos 665 nm e 708 nm)

e

$$R3 = Rrs_{665}^{753} - Rrs_{708}^{753}$$

(três bandas MERIS centradas nos comprimentos de onda 665, 708 e 753).

Em 2010, os mesmos Moses e Gitelson, em equipa também com Alexander Gilerson, realizaram outro estudo recorrendo às fórmulas anteriores e aplicando-as a dois conjuntos de dados: 1. dados de refletâncias simulados em laboratório, tendo em consideração diversos valores típicos de concentração de produtos em águas da costa (como: valores de Chl-a a variar entre ao 0-100 mg/m<sup>3</sup>, coeficiente de absorção da substância amarela com valores entre

os 0 e 5 m<sup>-1</sup>, entre outras considerações), e 2. a dados recolhidos *in-situ* no verão de 2008, sobre 85 estações nos lagos Fremont, Nebraska (EUA), dados estes que apresentaram valores de Chla entre os 2 e os 100 mg/m<sup>3</sup> e o valor de absorção de substância amarela no comprimento de onda dos 400 nm variou entre os 0,9 e os 3 m<sup>-1</sup>. Da análise aos resultados obtidos, cujo estudo completo se pode analisar em [26], resultaram alterações às fórmulas anteriores, designadas pelos investigadores por “algoritmo avançado”, a saber:

$$Chla_{2b\_adv} = (35,75 \times R2 - 19,30)^{1,124}$$

$$Chla_{3b\_adv} = (113,36 \times R3 - 16,45)^{1,124}$$

Na análise aos produtos do PCC, foram aplicados e analisados os quatro algoritmos.

#### **2.4.4.2. Gons et al**

Em 2008, Herman Gons, Martin Auer e Steven Effler estudaram os valores de Clorofila-a nos grandes lagos que fazem fronteira entre o Canadá e os Estados Unidos da América, os Laurentian Great Lakes, que contêm cerca de um quinto da água doce mundial e representam diversas formas de sustento e sobrevivência para milhões de pessoas. Daí a importância da monitorização destas águas [27]. Foram recolhidos dados *in-situ* de três dos cinco lagos, tendo sido escolhidas diferentes áreas, representativas de diferentes condições (profundidades diversas, zonas próximas e zonas afastadas da foz de rios, concentrações de Chl-a distintas; etc.). As três zonas de estudo desta equipa foram: 1. a zona de Green Bay: baía localizada a noroeste do Lago Michigan, com comprimento de 160 km, largura média de 22 km e profundidade média de 16 m; correspondente à bacia hidrográfica do rio Fox, muito rica em oxigénio, fosfatos e matéria em suspensão, derivado das descargas das fábricas de celulose e papel, e do escoamento agrícola da zona, onde os valores de Chl-a variam entre os 11 e os 131 mg/m<sup>3</sup> (zona eutrófica, com valores muito elevados), 2. os Finger Lakes: considerados como uma zona apenas, tratam-se de 11 lagos paralelos, de forma alongada, de origem préglaciar e que ficam a sul do Lago Ontario; os valores *in-situ* de Chl-a nestes lagos variam entre os 0,6 e os 67 mg/m<sup>3</sup> e 3. a baía de Keweenaw: situada a sudeste da península de Keweenaw, no Lago Superior (o maior dos cinco grandes lagos), baía com 36 km de comprimento, largura que vai de 3 a 18 km e profundidades entre os 30 a 170 m; a maior participação de água doce para este lago é a do rio Sturgeon, que tem uma água muito escura (muita turbidez), podendo provocar alterações óticas e por isso perturbar a leitura das imagens

de satélite desta área; zona com valores reduzidos de nutrientes e com valores típicos de clorofila entre os 0,5 e os 1,5 mg/m<sup>3</sup> (claramente zona oligotrófica).

Gons e a equipa verificaram que o algoritmo semi-analítico G1(bb), obtido a partir dos dados recolhidos *in-situ* e dos produtos de refletância obtidos a partir das bandas 7 (665 nm), 9 (709 nm) e 12 (779 nm) do sensor MERIS, se ajusta à determinação dos valores de Chl-a para as zonas 1. e 2. (Green Bay e Finger Lakes). O referido algoritmo é definido como:

$$\text{Chla} = \frac{\text{Rrs}_{665}^{709} \times (0,70 + b_b) - 0,40 - b_b^{1,06}}{0,016}$$

onde  $b_b = \frac{1,61 \times \text{Rrs}_{779}}{0,082 - 0,6 \times \text{Rrs}_{779}}$  é o coeficiente de *backscatter* centrado na banda dos 779 nm. De referir que este algoritmo, para este estudo de Gons, produziu resultados imprecisos para valores de Chl-a *in-situ* inferiores a 5 mg/m<sup>3</sup>, determinando mesmo valores negativos quando aplicado a zonas oligotróficas.

Para dois dos lagos Finger (lagos Skaneateles e Canandaigua) e para a zona 3. (Keweenaw Bay), foi observado que havia uma forte relação entre os dados de Chl-a medidos e estimados, quando estes últimos são determinados de forma dependente do valor de FLH, e assim surgiu o algoritmo G2 (FLH) definido por:

$$\text{Chla} = 1750 \times \text{FLH} + 0,157$$

O FLH, altura da linha de fluorescência (*Fluorescence Line Height*), foi um conceito que surgiu na década de 70, desenvolvido por Gower e Neville, quando descobriram a possibilidade de se determinar a concentração de Clorofila-a a partir de dados medidos por um espectrómetro [28]. Em 1999 Gower, Doerffer e Borstad [29] validaram o algoritmo de FLH para aplicação aos produtos do sensor MERIS. Assim, o FLH é definido como sendo:

$$\text{FLH} = L_2 - L_1 - (L_3 - L_1) \frac{(\lambda_2 - \lambda_1)}{(\lambda_3 - \lambda_1)}$$

onde  $L_i$  é a radiância MERIS relativa ao comprimento de onda  $\lambda_i$ , onde  $i \in \{1,2,3\}$ , referentes aos comprimentos de onda 665 nm, 682 nm e 709 nm, respetivamente. Segundo o estudo,

como os picos de fluorescência da Chl-a estão associados aos valores máximos de concentração de Chl-a (que quando analisados no espectro eletromagnético, estão centrados nos 685 nm), a banda  $i = 2$  é considerada a banda central e as outras duas são então as bases para a determinação do FLH (Figura 15).

O FLH pode também ser determinado recorrendo às refletâncias, como em [30]. Deste modo, as unidades das variáveis são diferentes (FLH em unidades de  $\text{sr}^{-1}$ , *esterradiano*, e Chl-a em  $\text{mg}/\text{m}^3$ ), no entanto é matematicamente possível analisar a relação entre estes dois produtos. Neste trabalho aplicaram-se as refletâncias para determinar o FLH.

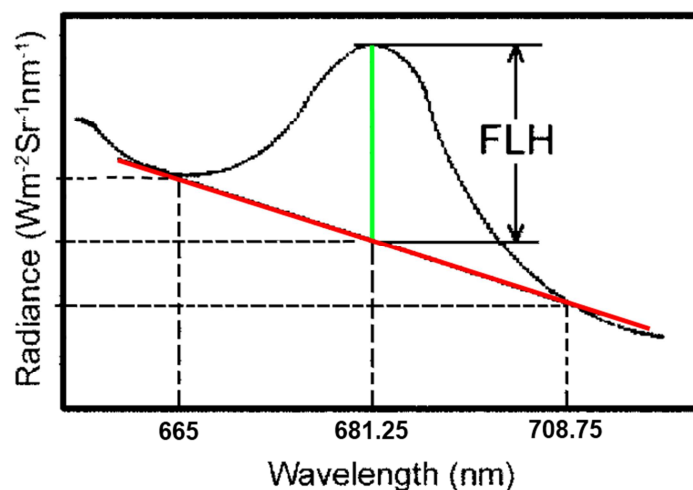


Figura 15: Esquema do significado do FLH (adaptado de [28]).

Mas, se os modelos para determinação de valores de Chl-a G1(bb) e G2 (FLH) se baseiam em zonas do vermelho e infravermelho próximo, em 2004 Gons & Auer tinham desenvolvido também algoritmos baseados no pressuposto da utilização de razões entre refletâncias da zona do azul e do verde (390 a 650 nm; “*Some notes on water color in Keweenaw Bay (Lake Superior)*”, Journal of Great Lakes Research, 2004, 30(Supplement 1), 481–489). Em 2008, embora não esteja orientado para águas oligotróficas, o algoritmo neste trabalho referenciado como G3, descreveu bem a variação de Clorofila-a em Keweenaw (lago superior) [27]:

$$\text{Chla} = 7,45 \left[ \frac{Rrs_{510}}{Rrs_{443}/Rrs_{560}} \right]^{0,60}.$$



### 2.4.4.3. Nechad e Ruddick

Buchra Nechad e Kevin Ruddick trabalham no centro de investigação belga MUMM e os seus estudos, “(...) *fórmulas robustas para deteção de TSM e de Chl-a* (...)” [8] têm como objetivo a validação da utilização dos produtos de imagens de satélite, para a determinação da concentração dos produtos Chl-a e TSM nas zonas costeiras da Bélgica. A determinação/validação dos valores de TSM é importantíssima, por exemplo, para a introdução dos mesmos valores no desenvolvimento de fórmulas para determinação de modelos de transporte de sedimentos – permitem o estudo da dispersão de partículas deitadas ao mar depois da drenagem dos portos e canais de navegação e, consequentemente, permite determinar a eficiência e otimizar a localização dos locais de despejo das areias. Em relação à Chl-a, a necessidade do conhecimento da sua concentração nas águas belgas tem particular interesse para os gestores ambientais do país avaliarem o estado de eutrofização<sup>1</sup>, no âmbito das regulamentações definidas pela *OSPAR Convention* (Convenção para Proteção do Ambiente Marinho do Nordeste do Atlântico, programa substituto de *Oslo and Paris Conventions for the Prevention of Marine Pollution*), além de ser um instrumento muito importante para a comunidade científica, pois os mapas de Chl-a auxiliam no estudo do ecossistema marinho local [8].

Os algoritmos para TSM de Nechad e Ruddick, foram a mais intensiva fonte de pesquisa relativamente à validação dos valores de concentração de TSM neste trabalho. Uma versão dos algoritmos desenvolvidos por esta equipa (2004, [8]), é baseada nos produtos de refletância da água: na banda dos 753 nm para a obtenção de valores TSM, e nas bandas dos 664 e 708 nm para a obtenção de valores de Chl-a. Para a obtenção da Chl-a consideram ainda como *input* valores da absorção da água no estado puro, em três bandas diferentes (664, 708 e 778 nm) e o coeficiente de retrodifusão. Assim:

$$\text{MUMM\_SPM} = 442 \times \frac{\rho_{753}}{0,187 - \rho_{753}} + 3,7$$

$$\text{MUMM\_Chla} = \frac{1}{0,0146} \times \left[ \frac{\rho_{708}}{\rho_{664}} (a_w^{708} + b_b) - a_w^{664} - b_b \right]$$

<sup>1</sup> Fenómeno causado pelo excesso de nutrientes na água. Provoca o aumento excessivo de algas e, por sua vez, a diminuição do oxigénio dissolvido, o que pode provocar a morte e decomposição de muitos organismos, diminuindo assim a qualidade da água e alteração do ecossistema circundante.

onde  $\rho_{zzz} = \pi \times Rrs_{zzz} = RLw$ , o coeficiente de *backscatter*  $b_b$  é (também) centrado na banda dos 778 nm<sup>1</sup>, mas definido por  $b_b = 1,20 \times \frac{RLw_{778} \times a_w^{778}}{0,187 - RLw_{778}}$ , Os dados de absorção pura da água são  $(a_w^{664nm}, a_w^{708nm}, a_w^{778nm}) = (0,402; 0,699; 2,690) m^{-1}$ .

(Aquando da apresentação de resultados, MUMM\_TSM é identificado como “Nechad\_3”).

Em 2010 [31], Nechad e Ruddick apresentaram a seguinte fórmula geral para a determinação de concentrações de TSM:

$$TSM = A^\rho \times \frac{\rho_{zzz}}{1 - \frac{\rho_{zzz}}{C^\rho}} + B^\rho$$

onde os coeficientes  $A^\rho$ ,  $B^\rho$  e  $C^\rho$  estão tabelados de acordo com cada comprimento de onda  $zzz$  e para diferentes sensores (tabelas 2 e 5 de [31]).

(Na apresentação de resultados neste trabalho, esta fórmula é designada como “Nechad\_5”).

Em outubro de 2011 esta dupla de investigadores, juntamente com mais dois (Katlane e Zargouni) [32], aplicaram as fórmulas desenvolvidas e determinaram outra para a determinação da concentração de TSM e da Turbidez na zona do Golfo de Babes, costa este da Tunísia (profundidade inferior a 50 m até cerca de 250 km da costa). Para este estudo recorreram à refletância no comprimento de onda 667 nm obtida pelo sensor MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*, sensor a bordo dos satélites Terra e AQUA, ambos da NASA, captando imagens sobre 36 bandas do espectro eletromagnético, entre os 400 e os 14 400 nm, com resolução espacial de 1 km e resolução radiométrica de 12 bits<sup>2</sup>) e a dados recolhidos *in-situ* em três dias de julho e em três dias de outubro de 2009 (da combinação dado *in-situ*/produto de satélite resultaram 12 *matchups*). De [32] extrai-se a seguinte fórmula para a determinação de TSM:

$$TSM = 62,86 \times \frac{\rho}{(0,1736 - \rho)}$$

onde  $\rho = \pi \times Rrs_{667}$

<sup>1</sup> As bandas MERIS estão centradas em 708,75 nm; 753,75 nm e 778,5 nm. Por coerência, manteve-se a designação da banda igual às fórmulas indicadas por cada investigador, mas, de facto, quando se refere a 708 quer-se referir a 709 nm; 753->754 nm e 778->779 nm.

<sup>2</sup> <http://modis.gsfc.nasa.gov/about/design.php>

Esta fórmula foi também aplicada à validação dos dados do Projeto CoastColour, sendo que, neste caso,  $\rho = RLW_{665}$  (banda com comprimento de onda mais próximo aos 667 nm do MODIS).

(Na apresentação de resultados neste trabalho, esta fórmula é designada como “Nechad\_4”).

## 2.5. Validação dos produtos do Projeto CoastColour

Obtidos novos valores a partir da modelação das imagens de satélite MERIS por parte do PCC, é fundamental e necessária a avaliação dos resultados, que se designa por “validação dos produtos”. De referir que, *“do confronto entre valores de dados in-situ e produtos de satélite, não resulta a conclusão que uns são melhores que outros porque, de facto, são meios de medição diferentes e nenhum pode sobrevalorizar o outro”* [33]. A validação dos produtos do Projeto CoastColour realizada neste trabalho passou por quatro fases: 1) analisaram-se os produtos de *conc\_tsm* (concentração estimada de TSM) e *conc\_chl* (concentração estimada de Chl-a) resultantes do PCC para os locais de recolha de dados no Estuário do Tejo, comparando-os diretamente (*in-situ* vs produto de satélite, 3.3.1); 2) aplicaram-se os diferentes algoritmos aos produtos das refletâncias (RLw) do PCC e compararam-se os resultados com os dados *in-situ* e com os valores derivados do PCC (3.3.2 e 3.3.3); 3) confrontaram-se os produtos PCC com outro tipo de dados como: 3.a) produtos do sensor MODIS com diferenças de passagem para o MERIS inferiores a 3 horas (3.3.4), 3.b) dados da maré em Lisboa (3.3.5) e 3.c) com valores do volume da água sobre o Estuário (3.3.6); 4) por fim, os algoritmos aplicados aos produtos do PCC (CCMERIS), foram aplicados também sobre os produtos MERIS processados anteriormente pela ESA (MERIS ESA).

A análise estatística dos dados foi efetuada através da análise dos *matchups* existentes, isto é, dos pares “*in-situ*/produto” ou “produto/produto” que têm sobreposição de localização/data/hora, onde “localização” corresponde ao pixel da imagem de satélite que contém as coordenadas do ponto da recolha do dado *in-situ*, “data” é o dia de recolha e “hora” corresponde a um desfasamento entre recolha de dado *in-situ* e imagem de satélite, para este trabalho de validação definido como tendo de ser inferior a 3 horas. Foi extraída das imagens MERIS processadas pelo PCC (através do BEAM), informação sobre uma janela 3 por 3, centrada no pixel *matchup*. Para avaliação e acreditação do valor do pixel em estudo, apenas foram considerados *matchups* com: i) valores válidos em pelo menos mais dois pixels vizinhos (garantia de informação em pelo menos 33 % da janela), e ii) onde o valor do pixel *matchup* dista do valor médio menos de três vezes o desvio padrão resultante da informação contida na janela.

Para comparar os valores dos novos modelos de processamento das imagens MERIS, os valores dos modelos antigos e os valores estimados pelos algoritmos (representados por  $y$ ), com os dados recolhidos *in-situ* (representados por  $x$ ), recorreu-se aos seguintes conceitos estatísticos:

a) coeficiente de determinação,  $r^2$ , que representa “quanto” da variável estimada  $y$  é determinada pela variável medida  $x$ :

$$r^2 = \frac{[\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})]^2}{[\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2] \times [\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2]}$$

onde  $n$  é o número total de medições/estimativas a avaliar,  $x$  é o valor medido,  $\bar{x}$  é a média dos valores medidos,  $y$  é o valor estimado,  $\bar{y}$  é a média dos valores estimados e  $i$  representa cada par; normalmente apresentado em forma decimal, o  $r^2$  varia entre 0 e 1, mas pode também ser referido em termos de percentagem, pelo que, pretende-se que o seu valor seja o mais próximo de 100% possível;

b) coeficiente de correlação( $r$ ), que é nada mais que a raiz quadrada do  $r^2$ , mas pode também ser negativo (varia entre -1 e 1) indicando a relação inversa entre as variáveis; tal como o  $r^2$ , o  $r$  pretende-se o mais próximo de 1 possível;

c) os coeficientes  $a$  e  $b$  das retas de correlação que melhor aproximam os produtos MERIS dos dados *in-situ*.

$$y = ax + b$$

onde a relação perfeita seria  $a = 1$  e  $b = 0$ ;

d) e o RMSE – *Root Mean Square Error*, ou a raiz quadrada do erro quadrático médio, trata-se de um coeficiente de análise muito utilizado neste tipo de estudos de validação de produtos de satélite:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - x_i)^2}{n}}$$

que representa o afastamento das variáveis estimadas em relação à variáveis medidas e, portanto, pretende-se o mais próximo de zero possível.

### 3. RESULTADOS

#### 3.1. Dados *in-situ* para o Projeto CoastColour

Devido à quantidade de informação recebida, pela necessidade da sua uniformização e devido a algumas falhas nos próprios dados, a organização dos dados recolhidos *in-situ* e enviados para o projeto por diferentes entidades (a elaboração da BD\_PCC, uma das componentes fundamentais do Projeto), foi trabalhosa, demorada e necessariamente exaustiva.

Dos dados tratados, é importante referir que apesar de se terem recebido dados sobre os *sites* 13 e 23 e de, portanto, fazerem parte da BD\_PCC, estes *sites* não terão dados *in-situ* para validação dos modelos. Tal acontece devido ao facto de não haver informação acerca da hora de recolha dos dados do *site* 13 e de no *site* 23 apenas haver dados de 2002 (de recordar que na BDM\_PCC só constarão dados com informação de localização geográfica, data e hora, entre 2005 e 2009, e que tenham correspondência com uma imagem de satélite MERIS). Não foram recebidos qualquer tipo de dados sobre os *sites* 15, 16, 18, 19, 21, 22, 24 e 27 (Tabela 2 e Figura 9). Com um total de nove *users* e de 1 274 686 registos de posicionamento/ data / hora, o *site* 1 é a zona com mais registos na BD\_PCC, bem como é também o *site* com maior variedade de variáveis recolhidas/recebidas. Os dados do *user* NOAA, para o *site* 20, apresentam registos de Chl-a bastante elevados (acima dos 200 mg/m<sup>3</sup>); através do contato direto com o *user*, estes valores acabaram por ser considerados (Gráfico 1). Nos gráficos 2 e 3 estão apresentados os valores médio e mediano de TSM e Chl-a, respetivamente, recolhidos sobre cada *site* e enviados para o PCC, assim como alguns valores (e *sites* respetivos), mais relevantes.

No final da organização da BD\_PCC, apesar de muitos dados terem sido já validados durante o processo, foram realizados alguns testes de acordo com os dados disponíveis, como a aplicação dos testes das refletâncias de deteção remota (*Rrs*) nas bandas do verde e do azul (Gráficos 4 e 5) [34] e o controlo de qualidade dos pigmentos recolhidos (Gráfico 6) (segundo Aitken et al, 2009).

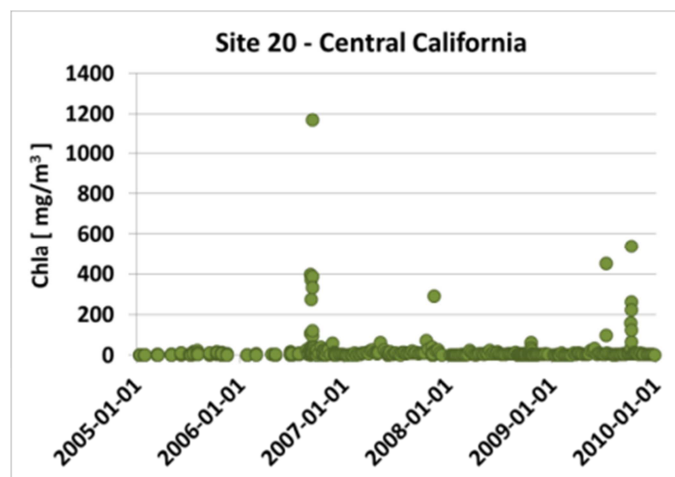
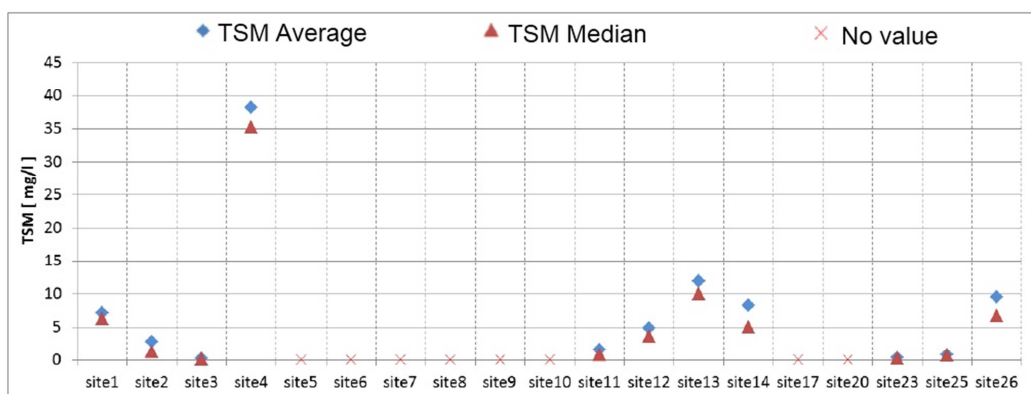


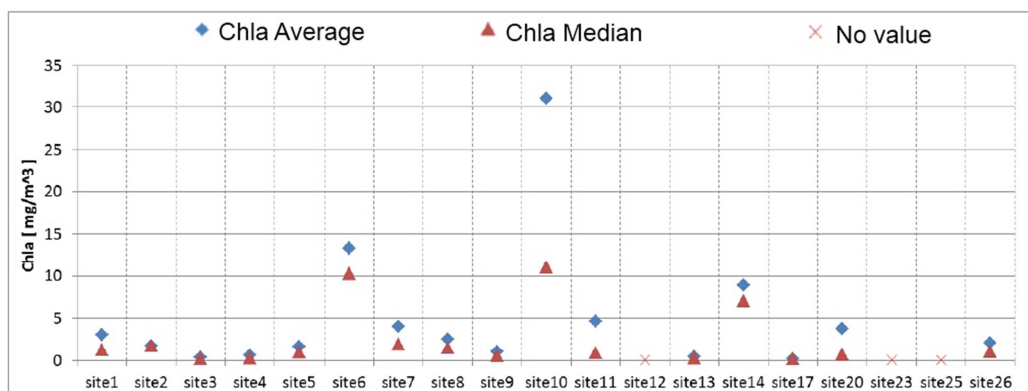
Gráfico 1: Dados de Chl-a da BD\_PCC, correspondentes ao Site 20.



**Site 4 – Morocco ( 670 records; max.:506mg/l )**

**Site 13 – Red Sea ( time missing; 56 records; max.: 25mg/l )**

Gráfico 2: Valores médios e medianos para as concentrações de TSM medidas em cada site do PCC.



**Site 10 – Benguela ( 165 records; max.: 497mg/m³ )**

**Site 20 – Central California ( 3766 records; max.: 1170mg/m³ )**

Gráfico 3: Valores médios e medianos para as concentrações de Chl-a medidas em cada site do PCC.

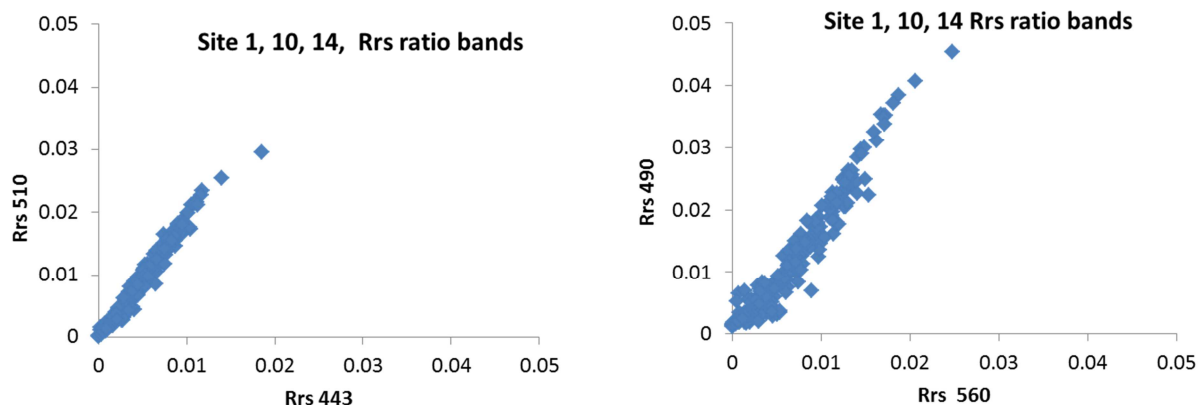
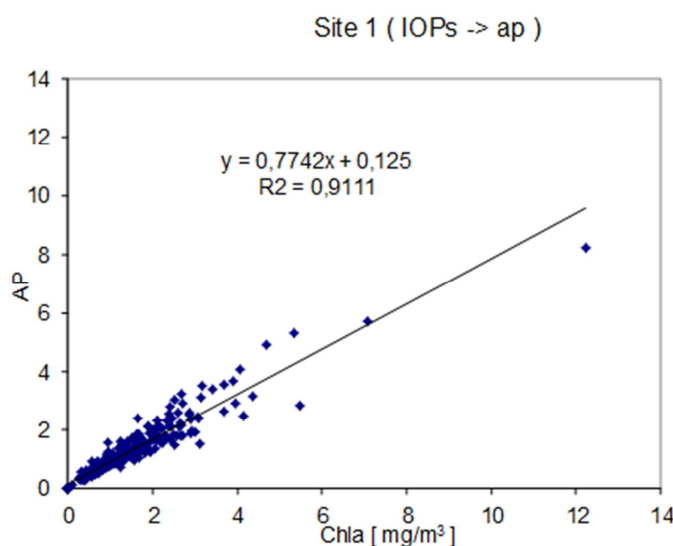
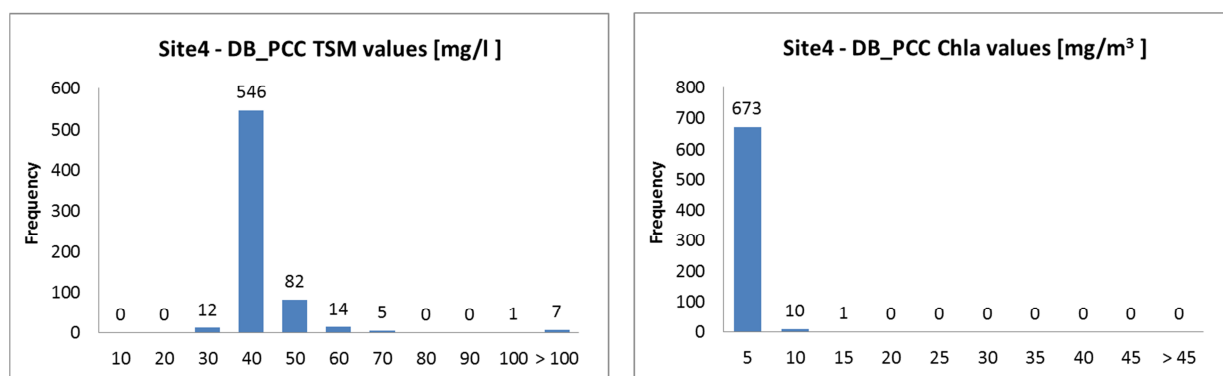
Gráfico 4 e 5: Relação entre as *Rrs* das bandas do azul e do verde [34].

Gráfico 6: Relação entre a Chl-a e o coeficiente de absorção de partículas (Aitken et al, 2009).

Em relação ao *Site 4* (correspondente à nossa zona de validação), na BD\_PCC a concentração de Chl-a varia entre os 0,009 e os 10,809 mg/m<sup>3</sup>, estando 98,4 % dos 684 registos concentrados no intervalo de 0-5mg/m<sup>3</sup> (Gráfico 7). É o site que apresenta os valores de TSM mais elevados, com um máximo é de 506,3 mg/l, no entanto, 82 % dos registos encontram-se entre os 30 e os 40 mg/l (Gráfico 8).

O documento *CoastColour In-situ database* [13], elaborado pela equipa portuguesa do PCC em conjunto com a equipa alemã do centro Brockmann Consult, contém o resumo da informação *in-situ* disponível em/para cada site, referindo as técnicas de recolha de dados por parte de cada *user*, bem como apresenta os dados estatísticos e os histogramas para as variáveis chave presentes em cada zona de estudo.

Gráficos 7 e 8: Histogramas relativos aos dados *in-situ* de TSM e Chl-a, do Site 4.

### 3.2. Dados *in-situ* para validação

Dos dados do projeto da Valor Sul recolhidos nos 12 anos de campanha (1999-2011) sobre as quatro estações do Estuário do Tejo (ver Figura 12), a estação S1 é a que apresenta o registo mais elevado de TSM e a S4 é a que possui maior estabilidade em termos de matéria particulada em suspensão, com o desvio padrão mais baixo entre os quatros pontos em análise e a média aparada a 5 % menos afetada. Relativamente ao pigmento Clorofila-a (em conjunto com os Feopigmentos), é também em S1 que ocorre o registo mais elevado, mas é também onde ocorre o maior desvio padrão. A estação S2 é a que apresenta os valores mais baixos no global (Tabela 8). Em S4, 98,28 % dos dados de Clorofila-a são registos inferiores a 15 mg/m<sup>3</sup> mas, estando 51,7 % dos dados entre os 2,5 e os 15 mg/m<sup>3</sup>, pode-se considerar que se está a analisar uma zona mesotrófica.

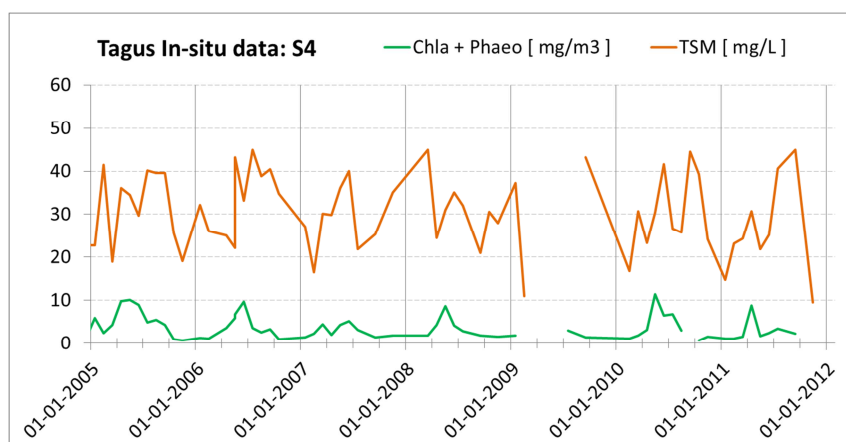


Gráfico 9: Dados de Chl-a + Feopigmentos e TSM medidos na estação 4, entre 2005 e 2011.



Essencialmente devido à sua localização (menor efeito terra na contaminação das imagens de satélite, Figura 12), a estação S4 foi considerada estação de referência para este estudo, com um total de 42 registos entre 2005 e 2009 (inclusive), 60 registos entre 2005 e 2012 (Gráfico 9) e um total 117 registos desde que se deu início ao projeto da Valor Sul (1999). De referir que nesta (bem como nas outras três estações, ver Anexo A.1.), ocorre o fenómeno de sazonalidade relativamente aos dados dos pigmentos – mais elevados no verão que no inverno – o mesmo não acontecendo em relação à concentração de TSM. Note-se ainda que entre as duas variáveis TSM e Chl-a (incluindo Feopigmentos), a correlação é praticamente nula ( $r^2 = 0,1131$ , onde os coeficientes da reta de correlação são  $a = 1,2472$  e  $b = 26,0240$ ).

Neste Projeto da Valor Sul, os dados foram recolhidos sempre em períodos de *neap tide*, como se pode verificar no Gráfico 10, onde está representada a altura da maré ao longo do ano de 2006, bem como os momentos de recolha de dados na estação S4 neste ano (em Anexo A.2., pode-se analisar a variação da maré de 2006 a 2009, os dados de 2005 já não estavam disponíveis no site de extração de informação de maré). Como se pode analisar (em 2006), a amplitude da maré, num dia, pode chegar a atingir os 4 m em períodos de marés vivas (*spring tide*), enquanto que nas marés mortas a diferença normalmente é inferior a 2 m, podendo ser de apenas 1 m, revelando assim uma diferença significativa de alturas da água no estuário que traduz uma variação elevada nas correntes do mesmo.

Tabela 8: Dados de Chla, Feopigmentos e TSM recolhidos *in-situ* para o projeto Valor Sul (1999-2011).

Stations	Statistics	TSM [ mg/l ]	Chla [ mg/m <sup>3</sup> ]	Chla+Phaeop [ mg/m <sup>3</sup> ]
S1 (n=131)	Maximum	113.3000	32.3009	40.8297
	Minimum	8.3333	0.2563	1.0679
	Average	28.0487	5.4706	8.0694
	Trimmed average 5%	26.1986	4.9460	7.4107
	Standard Deviation	13.3609	4.7406	6.1894
S2 (n=128)	Maximum	102.6000	14.6402	16.6595
	Minimum	8.4667	0.2392	0.7689
	Average	38.5534	3.3735	4.8603
	Trimmed average 5%	36.7803	3.2690	4.6958
	Standard Deviation	30.7120	1.7215	4.0558
S3 (n=126)	Maximum	64.5333	16.5443	21.4092
	Minimum	4.8667	0.0342	0.5126
	Average	23.9464	3.5507	4.9250
	Trimmed average 5%	23.5388	3.3715	4.6896
	Standard Deviation	11.0735	3.2298	4.0112
S4 (n=117)	Maximum	48.3333	24.2981	34.7279
	Minimum	3.8667	0.1282	0.3417
	Average	26.5414	2.9199	3.9663
	Trimmed average 5%	26.5122	2.6959	3.6370
	Standard Deviation	9.7684	3.1746	4.2122

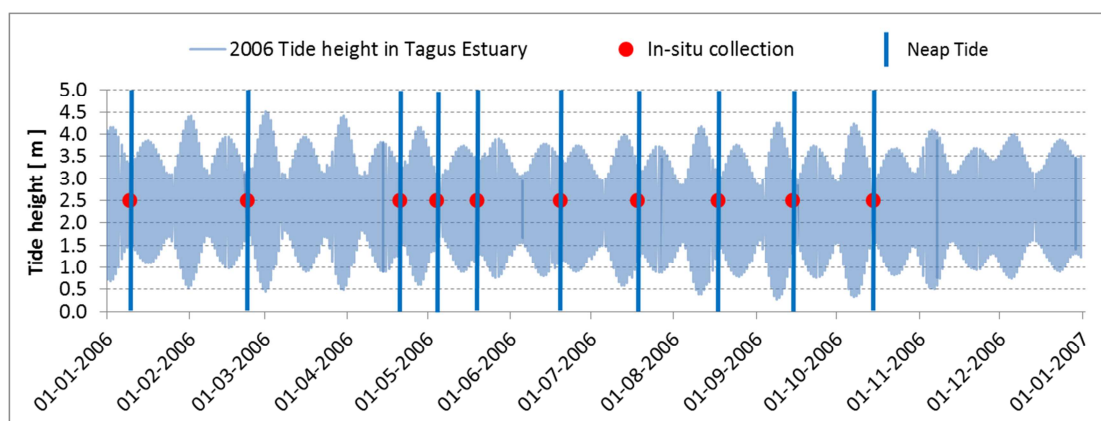


Gráfico 10: Altura das marés alta e baixa em Lisboa no ano de 2006 e momento da recolha de dados nas estações ValorSul.

### 3.3. Produtos das imagens de satélite

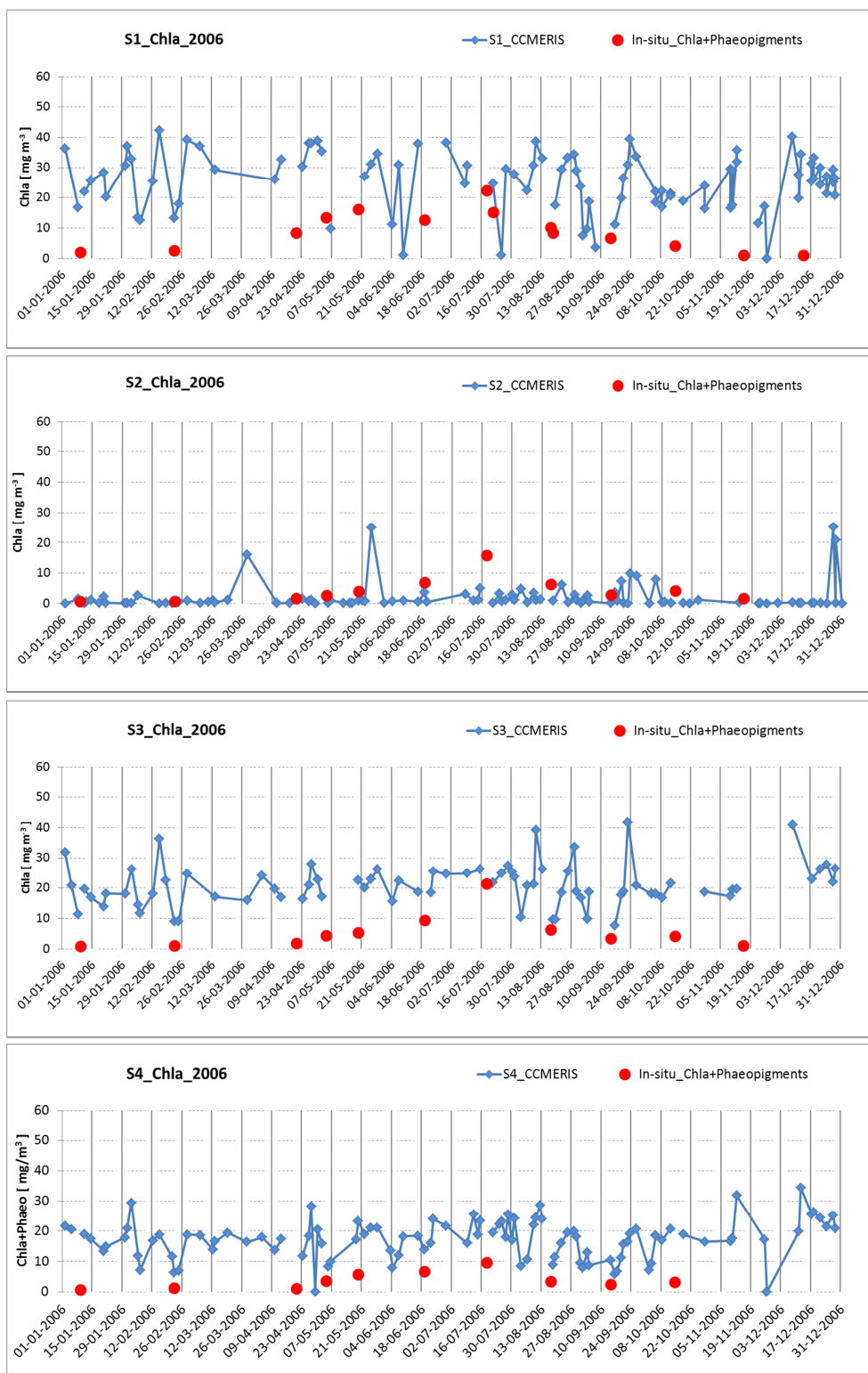
#### 3.3.1. Modelos MERIS do PCC e modelos MERIS da ESA

Para melhor se analisarem as diferenças entre os produtos MERIS ESA (anteriores) e os novos produtos do PCC (CCMERIS, CCMERIS\_QAA e CCMERIS\_FP), os dados são aqui apresentados “lado a lado”. É desde logo importante realçar a diferença entre o número de *matchups* disponíveis em cada um dos modelos (Tabela 9), mostrando claramente a diferença entre aproveitamento de informação da imagem de satélite, mesmo entre os dois modelos do projeto PCC (CCMERIS e CCMERIS\_FP).

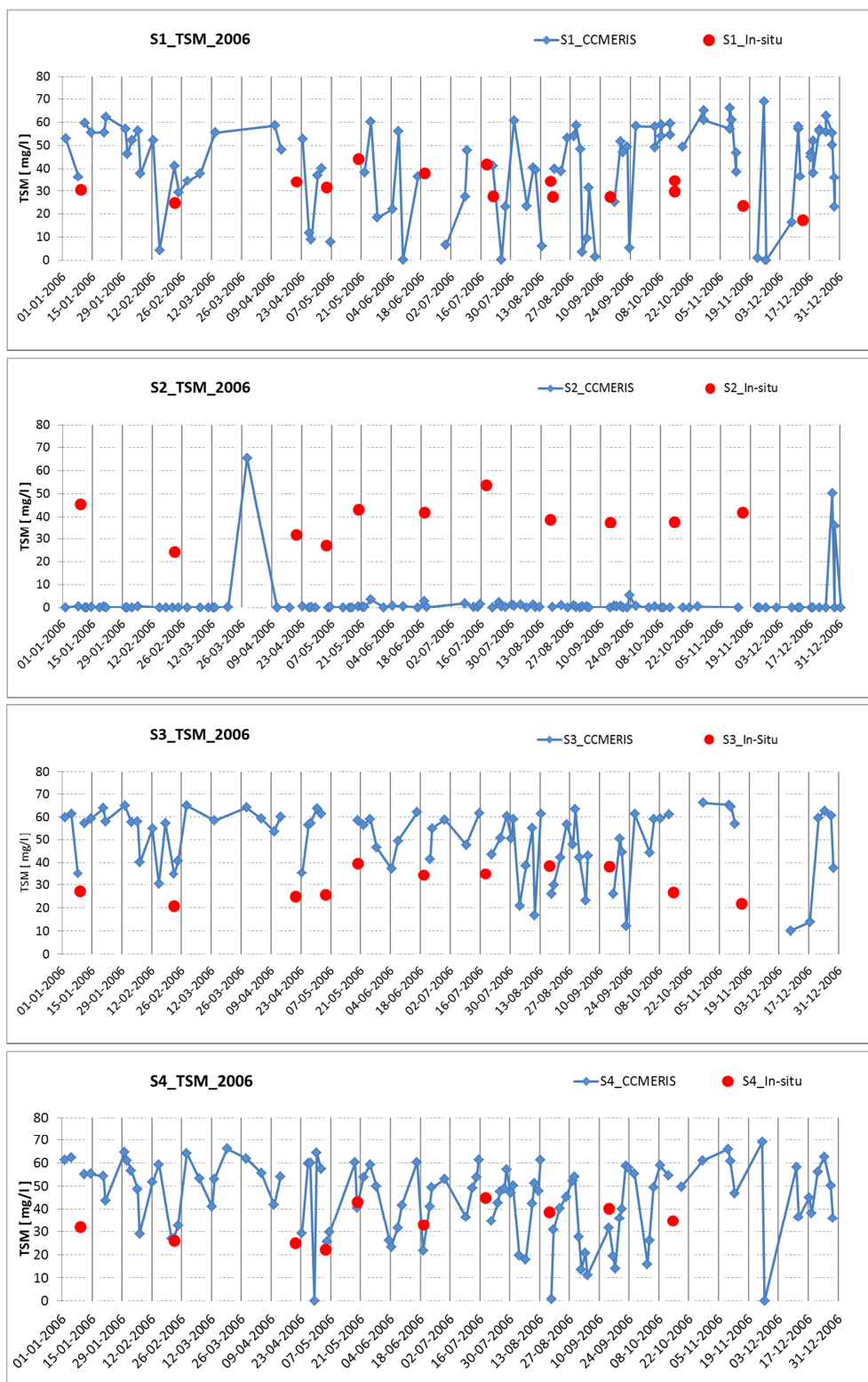
Tabela 9: Disponibilidade de *matchups* para os dados *in-situ* validação.

Matchups (3h difference, 2005-2011)	Method	S1	S2	S3	S4
	MERIS ESA	-	1	11	13
	CCMERIS	11	16	12	15
	CCMERIS_FP	-	-	4	30

Da análise aos primeiros produtos obtidos pelos novos modelos do PCC (CCMERIS), ressalta a diferença de resultados dos valores de Chl-a e TSM verificados na estação 2 (S2) em relação às restantes estações (Gráficos 11 a 18 e Anexo B.1. a B.12.). Pelo padrão anómalo observado, e por se tratar de uma estação muito próxima de terra (ver Figura 12), optou-se por não se considerar esta estação para validação. As estações 1 e 3 também revelaram algumas perturbações nos resultados. Na Tabela 10 estão representados os valores dos 11 *matchups* CCMERIS encontrados sobre a estação 1 (entre 2005 e 2009).



Gráficos 11 a 14 : Dados *in-situ* de Chl-a nas quatro estações do projeto Valor Sul e variação MERIS anual da concentração de Chl-a determinada pelo modelo CCIMERIS (2006).

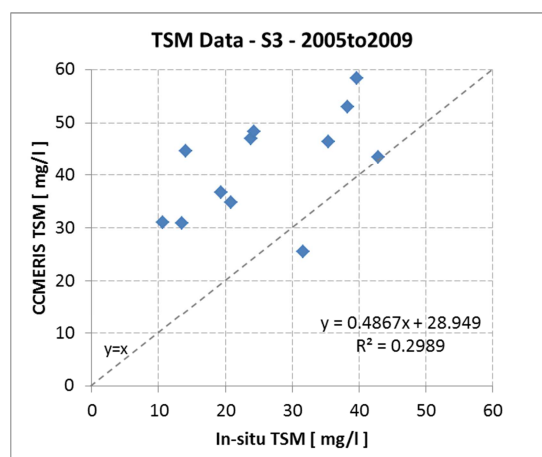
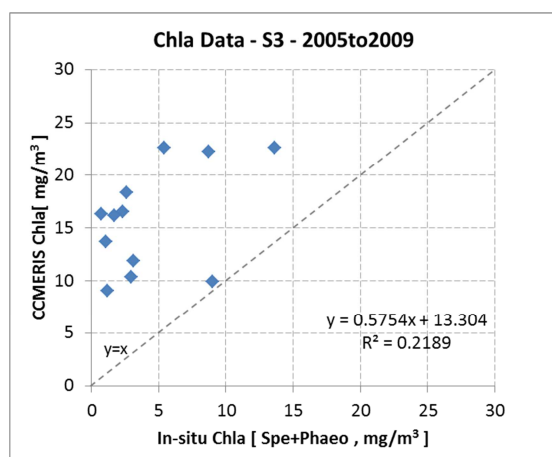


Gráficos 15 a 18 : Dados *in-situ* de TSM nas quatro estações do projeto Valor Sul e variação MERIS anual da concentração de TSM determinada pelo modelo CCMERIS (2006).

Os valores mínimos de Chl-a dos nove pixels em consideração para cada análise, rondam os  $0\text{--}1,33\text{ mg/m}^3$  e os valores máximos podem chegar aos  $35,59\text{ mg/m}^3$ , por outro lado, o valor do desvio padrão varia entre os  $4,98\text{ mg/m}^3$  e os  $9,74\text{ mg/m}^3$ . Tendo em conta estes resultados, e as conclusões idênticas relativamente à análise referente à concentração de TSM (Anexo B.13.), consideramos notória a contaminação do valor de alguns pixels, pelo que a estação 1 (que também se encontra próximo de terra, Figura 12) também não foi considerada para validação nos restantes estudos globais. A estação 3, que se encontra do lado este de uma das ilhas situadas a noroeste do Estuário do Tejo (Figura 12), apresentando correlações muito baixas (Gráficos 19 e 20, possivelmente devido, também, à proximidade de terra), foi igualmente excluída do restante processo de análise.

Tabela 10: Valores da janela 3 por 3 dos 11 matchups de Chl-a da estação 1.

Matchups S1 (11)	CCMERIS (3by3 window)						In-situ Chla+Phaeop
	Conc_Chla	Max_Chla	Min_Chla	Average_Chla	Median_Chla	Stdev_Chla	
14-07-2005	12.63116	15.05842	0.77892	10.65544	13.22240	4.98494	16.49931
12-08-2005	20.88567	21.26522	0.30190	8.76975	2.42145	9.53844	10.31608
12-09-2005	13.18680	13.73364	0.82462	8.56582	11.31874	5.23164	11.27720
24-11-2005	14.16658	14.33435	0.39027	9.90939	12.81823	5.53284	1.76847
22-02-2006	13.32942	14.11791	0.14566	9.13178	12.59330	5.57592	2.69115
21-07-2006	24.73051	24.73051	1.18240	18.09841	23.20123	8.83291	15.25000
12-01-2007	16.13411	17.56603	0.23482	11.39036	14.75817	6.45996	1.69750
20-09-2007	10.91411	12.30941	0.78324	5.68309	1.38743	5.32988	6.72788
30-11-2007	17.65311	35.59346	0.12808	19.76870	17.65311	9.74010	2.24263
08-09-2008	12.03971	15.78692	0.48826	8.74665	11.03174	5.15829	4.77359
18-03-2009	20.93476	27.66271	1.32981	17.93253	20.99694	8.08929	5.99101

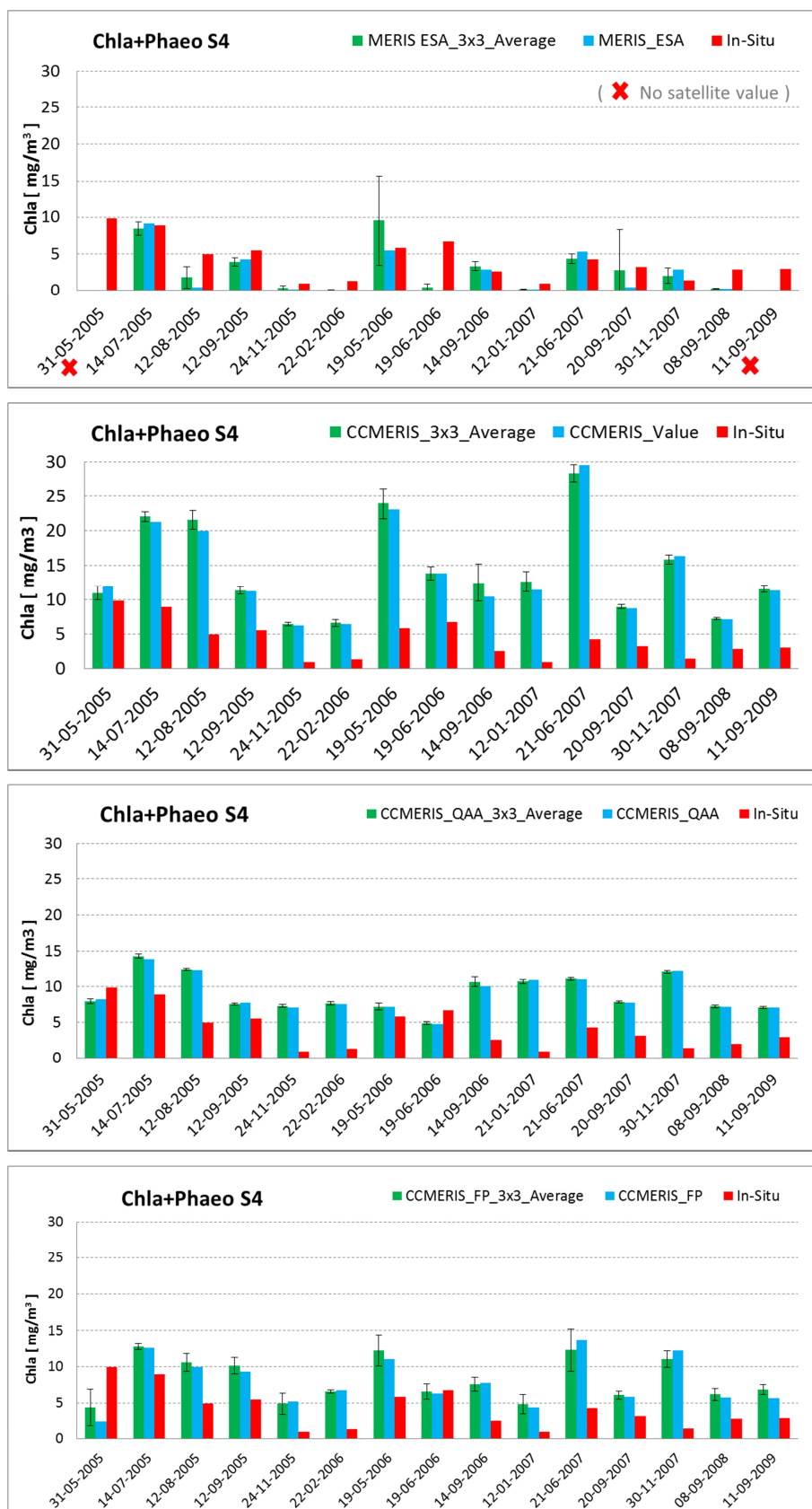


Gráficos 19. e 20.: Correlações entre dados *in-situ* e produtos CCMERIS, na estação 3 (2005-2009).

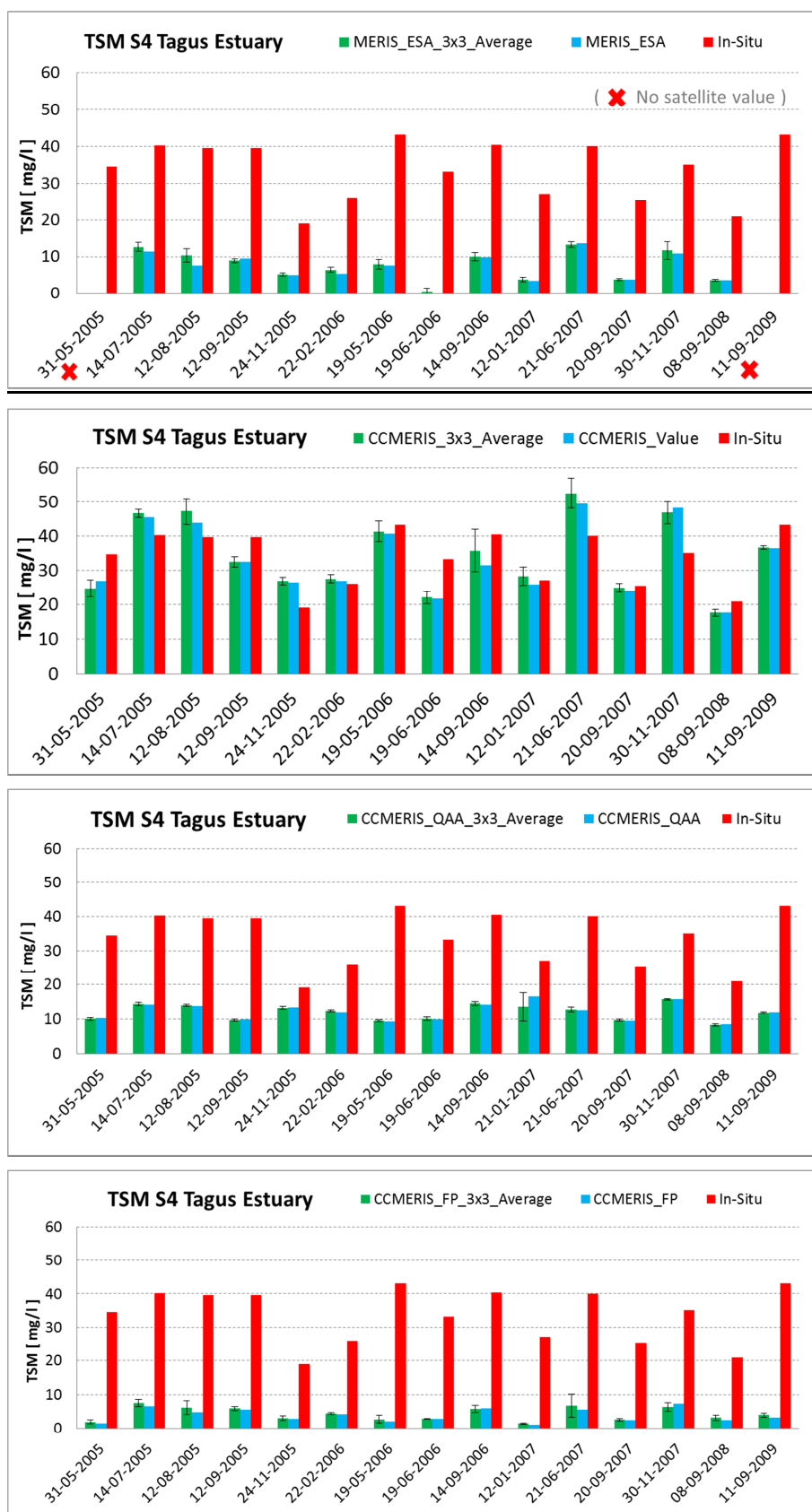
A estação 4 (S4) é a que apresenta melhores condições em termos geográficos para ser validada, bem como é a que acaba por apresentar melhores resultados em termos de análise entre dados recolhidos *in-situ versus* (vs) produtos obtidos pelo projeto PCC (ver Anexo B.16.).

Assim, considerando S4 como referência, foram comparados os dados recolhidos *in-situ* com os produtos de imagens de satélite: os produtos anteriores, processados pela ESA (MERIS ESA), e os novos produtos resultantes dos processamentos do PCC (o CCMERIS, análise inicial, e depois os produtos CCMERIS\_QAA e CCMERIS\_FP). Nos Gráficos 21 a 24 estão representados os valores dos *matchups* dos quatro modelos analisados com dados de 2005 a 2009, para a concentração de Clorofila-a, sendo que os dados *in-situ* são contabilizados em conjunto com a concentração de Feopigmentos. Assim, têm-se os valores medidos *in-situ* em S4 (vermelho), o valor da concentração de Chl-a do pixel correspondente à localização geográfica da estação (azul) e ainda o valor médio da janela 3 por 3 (verde), com indicação do desvio padrão observado sobre essa mesma janela. Nos Gráficos 25 a 28 encontram-se os resultados da concentração de TSM.

Numa primeira análise aos gráficos seguintes, e suportada pelos resultados das correlações ilustradas nos Gráficos 29 e 30, observa-se que o modelo de processamento de imagens de satélite MERIS que melhor estima a determinação de Chl-a é o modelo anterior, MERIS ESA, contudo, apresenta também uma correlação muito baixa ( $r^2 = 0,42$ ). Observa-se nos três modelos do PCC uma sobrevalorização da concentração de Chl-a, onde, apesar da variação entre as variáveis ser praticamente a mesma ( $a = 1,009$  no modelo CCMERIS), existe uma diferença de valores de cerca de  $10 \text{ mg/m}^3$ .

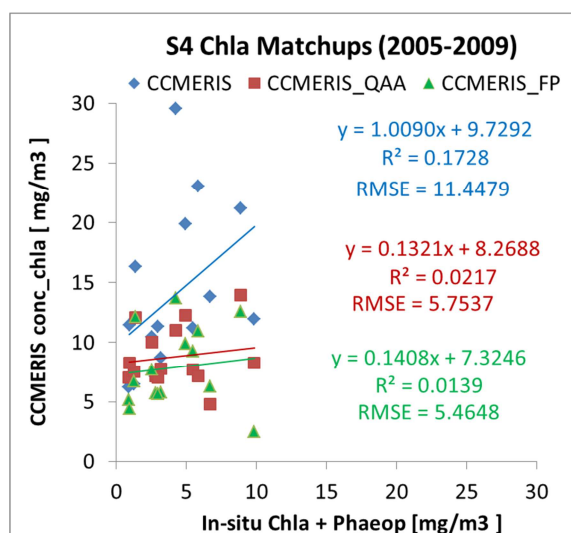
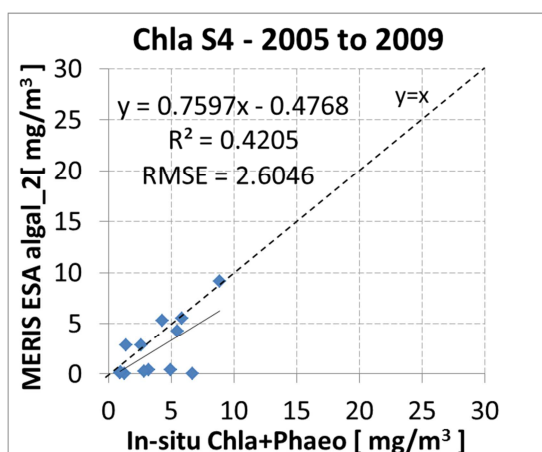
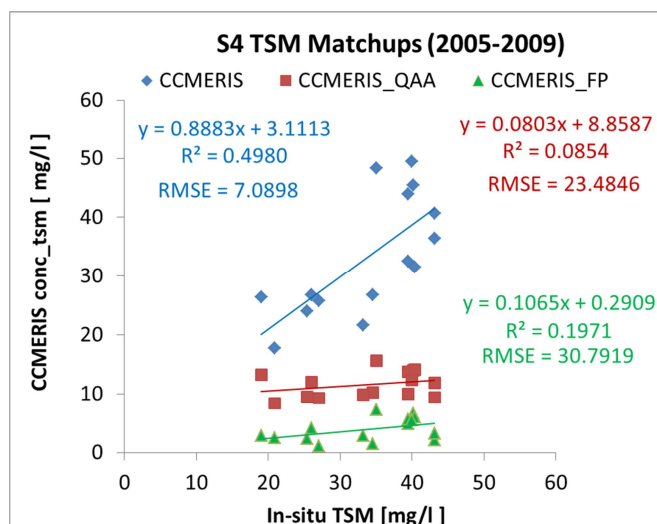
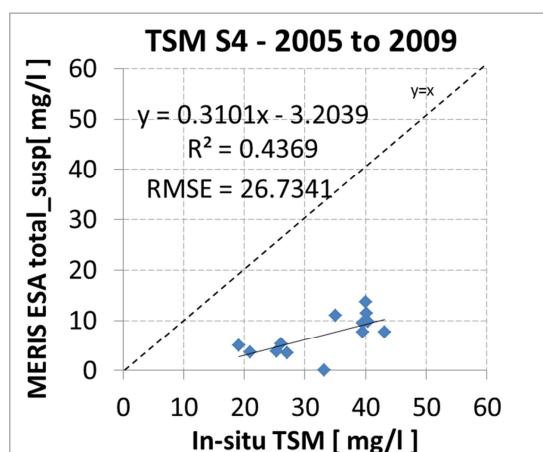


Gráficos 21 a 24: Valores de Chl-a obtidos para a estação 4, pelos modelos MERIS ESA e os três modelos do PCC.



Gráficos 25 a 28: Valores de TSM obtidos para a estação 4, pelos modelos MERIS ESA e os três resultantes do PCC.



Gráficos 29 e 30: Correlação entre dados *in-situ* de Chl-a e concentrações das imagens de satélite MERIS.Gráficos 31 e 32: Correlação entre dados *in-situ* de TSM e concentrações das imagens de satélite MERIS.

Da análise dos Gráficos 25 a 28, 31 e 32, conclui-se que houve uma melhoria substancial nos resultados dos valores de matéria particulada em suspensão, onde a raiz do erro quadrático médio (RMSE) passou de 26,73 mg/l para 7,09 mg/l com o modelo CCIMERIS (o que melhor estima a concentração de TSM na estação 4). Ainda assim, a correlação entre dados medidos e previstos com a informação do sensor, continua baixa ( $r < 0,71$ ,  $r^2 < 0,50$ ). Neste caso, os modelos do Projeto CoastColour sub estimam a concentração da variável em estudo.

O modelo CCIMERIS\_QAA estimou a concentração de Chl-a e TSM sobre a estação 4 do Estuário do Tejo, mas os valores obtidos apresentam coeficientes de determinação inferiores a 10 % (Gráficos 30 e 32), ou seja, nada significativos. O facto do modelo final CCIMERIS\_FP, (*Final Products*) ter sido calibrado e validado com os *matchups* da BD\_PCC, não se revelou

mais eficaz que os modelos anteriores, tendo-se mesmo obtido dados estatisticamente menos significativos que o CCMERIS\_QAA para os valores de Chl-a (Gráficos 30 e 32).

O último processamento do Projeto (CCMERIS\_FP) permite a identificação de, ao todo, 29 *matchups* entre 2005 e 2012, sendo que, para o período de 2005 a 2009 (inclusive) em vez dos 15 pares (*in-situ* / satélite) dos processamentos anteriores, foram obtidos 20 *matchups*. Os resultados totais dos *matchups* da estação 4 com os CCMERIS\_FP, estão apresentados nos Gráficos 33 a 36 e, como se pode verificar, não existe qualquer relação entre os valores das variáveis em estudo analisando os pares *in-situ* / satélite e, se para a Chl-a este processamento sobre estima os valores, para o TSM sub estima em demasia.

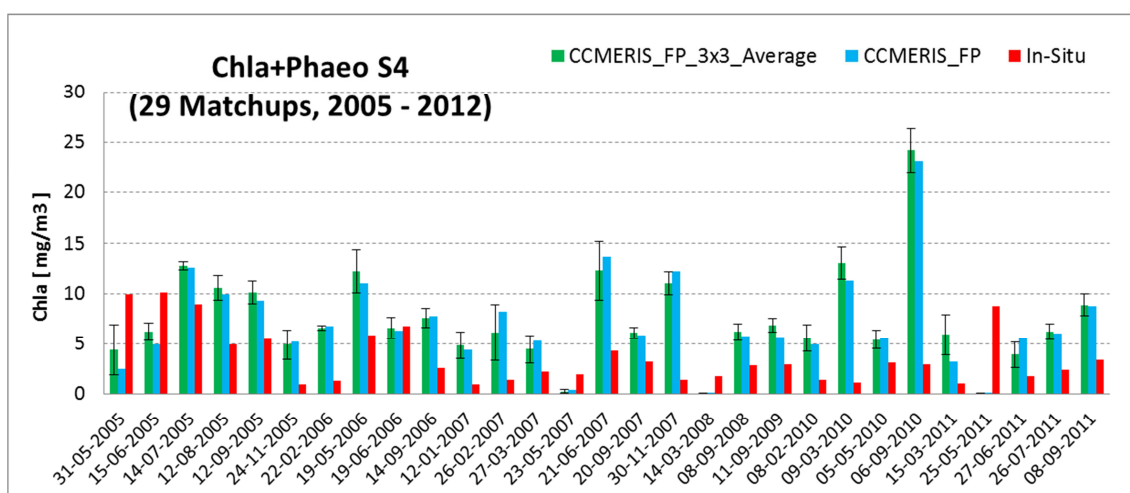


Gráfico 33: Valores de Chl-a dos 29 matchups resultantes do processamento CCMERIS\_FP (2005 a 2012).

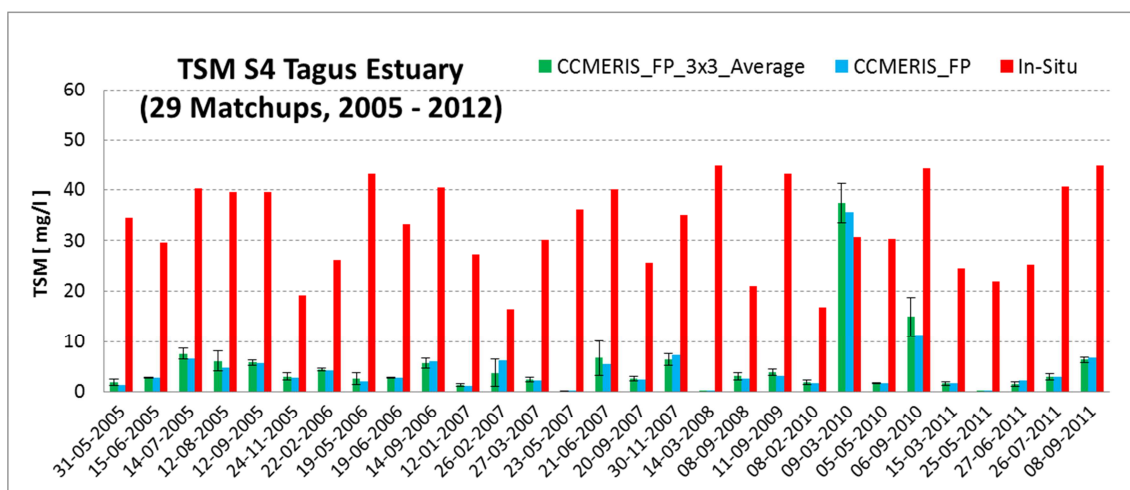
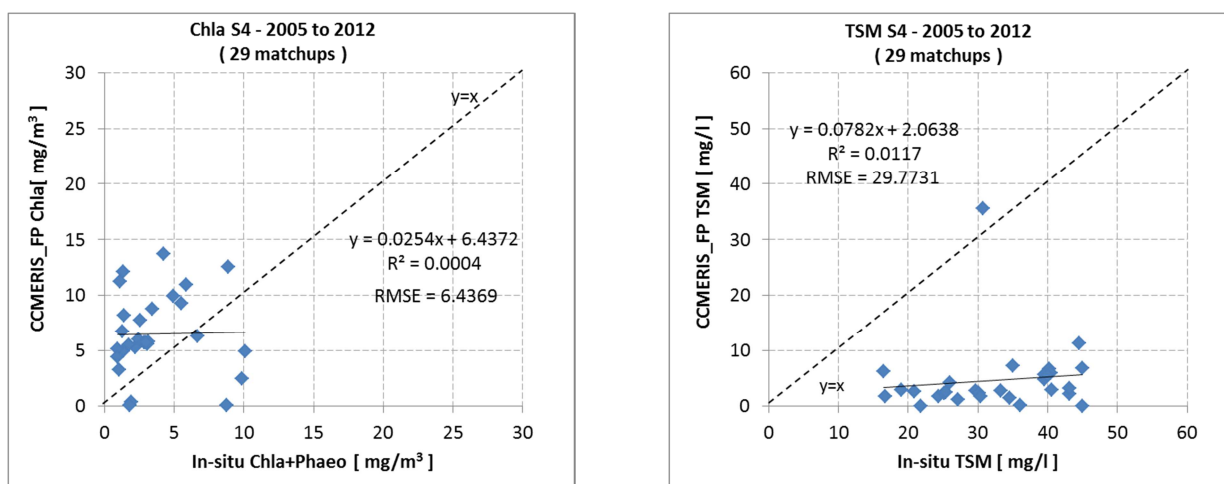


Gráfico 34: Valores de TSM dos 29 matchups resultantes do processamento CCMERIS\_FP (2005 a 2012).



Gráficos 35. e 36: Correlações totais dos 29 *matchups* dos produtos CCMERIS\_FP (2005 a 2012).

### 3.3.2. Modelos OC2 e OC4

Foram analisados os modelos OC2, OC4 e OC4E, das versões 4 e 6, sobre os produtos *Rrs* CCMERIS e *Rrs* CCMERIS\_FP, obtidos através dos produtos RLw das imagens L2R do projeto (CCMERIS e CCMERIS\_FP, respetivamente<sup>1</sup>) e ainda sobre 12 dos 13 matchups dos produtos MERIS ESA (o registo de 09-03-2010 foi eliminado devido ao grande desvio dos valores das refletâncias). Primeiro foi avaliada a relação entre: I) o valor da Chl-a medido *in-situ* na estação 4 e o valor do pixel correspondente à localização da estação, estimado pelos modelos OC aplicados aos produtos PCC; depois II) foram avaliados os pares produto *conc\_chl* determinado pelo PCC e o valor resultante da aplicação dos modelos OC às refletâncias *Rrs* do PCC. Fez-se análise semelhante com os produtos das imagens L2 MERIS ESA.

Da análise dos resultados expostos nas Tabela 11 e 12 (cujos gráficos se podem analisar em Anexos C.1 e C.2), facilmente se conclui que nenhum dos modelos OC apresentados consegue reproduzir os valores de Chl-a medidos *in-situ* na estação 4: coeficientes de correlação inferiores a 0,15 ( $r^2 < 0,02$ ). Analisando os produtos Chl-a CCMERIS (*conc\_chl*), pode-se considerar que os valores estejam correlacionados com os valores obtidos pelos algoritmos OC4 e OC4E (em ambas as versões, quando estes modelos recorrem às refletâncias CCMERIS), mas, estatisticamente, trata-se de um valor reduzido ( $r^2 < 0,69$ ). É de referir ainda o facto de sub estimarem (muito), tanto os valores *conc\_chl* como os próprios dados *in-situ*. Considerando a análise do  $r^2$  e do RMSE, neste conjunto de dados, o melhor modelo é o OC4\_v4, uma vez que o OC4E\_v4 (que seria, *à priori*, o mais indicado), apresenta

<sup>1</sup> De recordar que *Rrs* CCMERIS\_QAA são o mesmos produtos do *Rrs* CCMERIS.

um RMSE superior ao outro em cerca de  $1 \text{ mg/m}^3$ . Globalmente, considerando apenas valores de satélite, tem-se que a relação entre a *conc\_chl* CCMERIS e a Chl-a estimada pelos modelos OC (aplicados às refletâncias CCMERIS), pode chegar aos 72% sendo que, o algoritmo mais indicado varia segundo a versão: para a versão 4 o melhor algoritmo é o OC4E e para a versão 6, o melhor é o OC4 (Gráficos 37 e 38).

Tabela 11: Análise entre dados Chl-a in-situ e produtos CCMERIS vs modelos OC\_v4 com produtos CCMERIS.

15 Matchups (2005 - 2009)				
DATA	Coef.	OC2_v4 CCMERIS bands	OC4_v4 CCMERIS bands	OC4E_v4 CCMERIS bands
in-situ	a	0.0010	0.0943	0.0763
	b	0.1079	8.5705	7.5274
	$r^2$	0.0111	0.0180	0.0199
	MSE	23.5473	32.7732	22.0399
	RMSE	4.8526	5.7248	4.6947
CCMERIS conc_chl	a	0.0029	0.2385	0.1843
	b	0.0712	5.6431	5.2796
	$r^2$	0.5863	0.6787	0.6845
	MSE	233.2192	50.6438	66.1539
	RMSE	15.2715	7.1164	8.1335

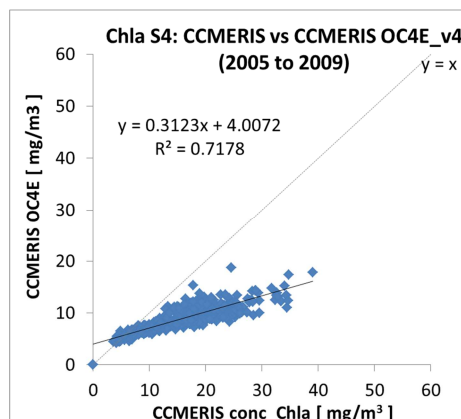


Gráfico 37.: Produtos Chl-a CCMERIS e Chla CCMERIS obtidos pelo algoritmo OC4E (versão 4).

Tabela 12: Análise entre dados Chl-a in-situ e produtos CCMERIS vs modelos OC\_v6 com produtos CCMERIS.

15 Matchups (2005 - 2009)				
DATA	Coef.	OC2_v6 CCMERIS bands	OC4_v6 CCMERIS bands	OC4E_v6 CCMERIS bands
in-situ	a	0.0011	0.0936	0.0790
	b	0.0884	8.2774	7.3769
	$r^2$	0.0087	0.0152	0.0163
	MSE	23.7013	30.6384	21.6481
	RMSE	4.8684	5.5352	4.6528
CCMERIS conc_chl	a	0.0036	0.2562	0.2090
	b	0.0429	5.1023	4.7978
	$r^2$	0.5810	0.6684	0.6727
	MSE	233.6925	52.7562	66.3936
	RMSE	15.2870	7.2633	8.1482

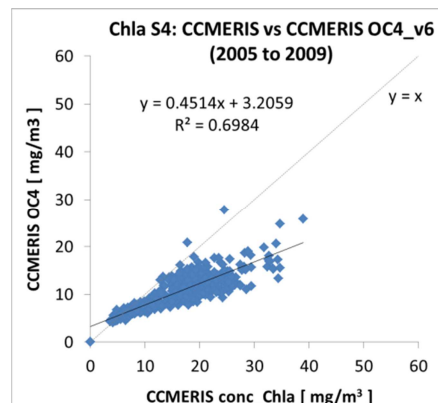


Gráfico 38.: Produtos Chl-a CCMERIS e Chla CCMERIS obtidos pelo algoritmo OC4 (versão 6).

Em relação aos produtos finais do PCC, os algoritmos aplicados às refletâncias CCMERIS\_FP correlacionam-se melhor com os dados *in-situ* do que com os *matchups* dos produtos *conc\_chl* CCMERIS\_FP contudo, é estatisticamente insignificante (Tabela 13 e Tabela 14). Considerando todos os produtos CCMERIS\_FP, a correlação entre os valores de *conc\_chl* e os valores estimados pelo OC é muito baixa também, chegando no máximo aos 35 %, sendo

que o melhor modelo da versão 4 é (tal como com os produtos CCMERIS) o OC4E\_v4 (Gráfico 39), embora para a versão 6 seja o OC4\_v6 (Gráfico 40).

Tabela 13: Análise entre dados Chl-a in-situ e produtos CCMERIS\_FP vs modelo OC\_v4 com produtos CCMERIS\_FP.

15 Matchups (2005 - 2009)				
DATA	Coef.	OC2_v4 CCMERIS_FP bands	OC4_v4 CCMERIS_FP bands	OC4E_v4 CCMERIS_FP bands
in-situ	a	0.0052	0.3528	0.2671
	b	0.1003	8.7023	7.6635
	$r^2$	0.2390	0.2383	0.2418
	MSE	23.4087	42.2365	26.9834
	RMSE	4.8383	6.4990	5.1946
CCMERIS_FP conc_chl	a	0.0007	0.1498	0.1152
	b	0.1158	8.9794	7.8593
	$r^2$	0.0071	0.0612	0.0640
	MSE	71.0393	16.2152	10.9279
	RMSE	8.4285	4.0268	3.3057

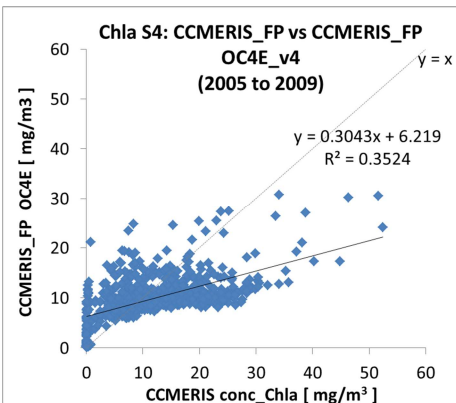


Gráfico 39: Produtos Chl-a CCMERIS\_FP e Chla CCMERIS\_FP obtidos pelo algoritmo OC4E (versão 4).

Tabela 14: Análise entre dados Chl-a in-situ e produtos CCMERIS\_FP vs modelo OC\_v6 com produtos CCMERIS\_FP.

15 Matchups (2005 - 2009)				
DATA	Coef.	OC2_v6 CCMERIS_FP bands	OC4_v6 CCMERIS_FP bands	OC4E_v6 CCMERIS_FP bands
in-situ	a	0.0065	0.3919	0.3152
	b	0.0778	8.3434	7.4571
	$r^2$	0.2365	0.2324	0.2348
	MSE	23.5265	40.3402	27.1521
	RMSE	4.8504	6.3514	5.2108
CCMERIS_FP conc_chl	a	0.0009	0.1616	0.1315
	b	0.0978	8.6886	7.7231
	$r^2$	0.0061	0.0563	0.0582
	MSE	71.3015	16.1295	11.5131
	RMSE	8.4440	4.0162	3.3931

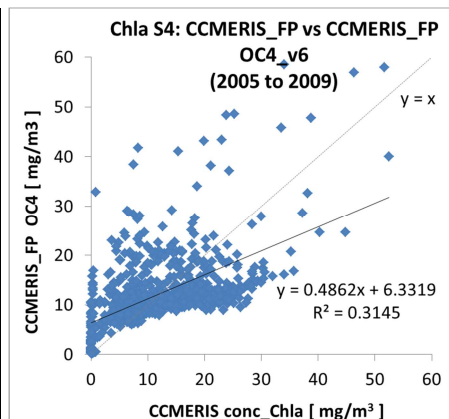


Gráfico 40: Produtos Chl-a CCMERIS\_FP e Chla CCMERIS\_FP obtidos pelo algoritmo OC4 (versão 6).

Da análise dos dados *in-situ* versus produtos resultantes da aplicação destes modelos OC aos produtos MERIS da ESA, conclui-se que as relações entre as variáveis são ainda mais baixas (Tabela 15 e 16 e Gráficos 41 e 42), sendo mesmo (praticamente) zero a correlação entre os valores dos algoritmos e o produto *algai\_2* (no modelo OC4\_v4,  $r = 0,0721$ ).

Tabela 15: Análise entre dados Chl-a in-situ e produtos algal\_2 vs modelo OC\_v4 com produtos MERIS ESA.

12 Matchups (2005 - 2009)				
DATA	Coef.	OC2_v4 MERIS ESA bands	OC4_v4 MERIS ESA bands	OC4E_v4 MERIS ESA bands
in-situ	a	0.0122	1.0664	0.7345
	b	0.1391	7.6831	6.8692
	$r^2$	0.0326	0.0762	0.0736
	MSE	16.6283	137.1997	72.2047
	RMSE	4.0778	11.7132	8.4973
MERIS ESA algal_2	a	-0.0051	0.2300	0.1099
	b	0.1958	10.8690	9.1897
	$r^2$	0.0085	0.0052	0.1019
	MSE	13.9156	163.4857	93.0467
	RMSE	3.7304	12.7862	9.6461

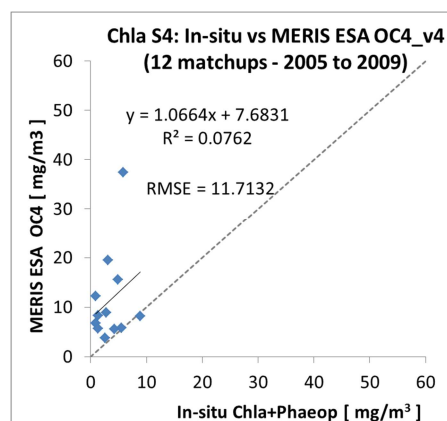


Gráfico 41: Correlação entre dados in-situ e os valores Chl-a MERIS ESA obtidos pelo modelo OC4 (versão 4).

Tabela 16: Análise entre dados Chl-a in-situ e produtos algal\_2 vs modelos OC\_v6 com produtos MERIS ESA.

12 Matchups (2005 - 2009)				
DATA	Coef.	OC2_v6 MERIS ESA bands	OC4_v6 MERIS ESA bands	OC4E_v6 MERIS ESA bands
in-situ	a	0.0135	1.4589	1.0946
	b	0.1327	7.1289	6.4915
	$r^2$	0.0294	0.0808	0.0795
	MSE	16.6345	208.6752	121.6547
	RMSE	4.0785	14.4456	11.0297
MERIS ESA algal_2	a	-0.0072	0.4879	0.3247
	b	0.1995	11.0360	9.5309
	$r^2$	0.0123	0.0133	0.0103
	MSE	13.9652	236.6900	144.6765
	RMSE	3.7370	15.3847	12.0282

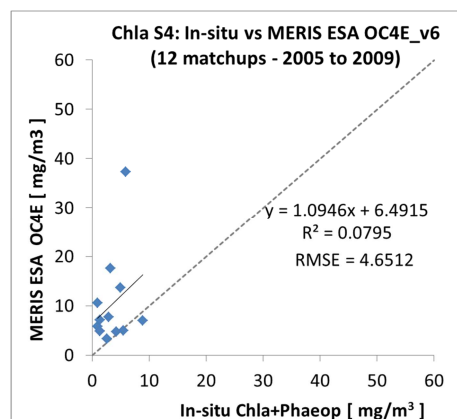


Gráfico 42: Correlação entre dados in-situ e os valores Chl-a MERIS ESA obtidos pelo algoritmo OC4 (versão 6).

(Todos os gráficos correspondentes a esta análise, estão em Anexo C.)

### 3.3.3. Outros Algoritmos

#### 3.3.3.1. Moses, Gitelson e Gilerson

Quando comparamos os valores de Chl-a dos dados *in-situ* recolhidos no Estuário do Tejo (Clorofila-a + Feopigmentos), com os valores determinados através dos algoritmos Moses e Gilerson (capítulo 2.4.4.1., aplicados aos novos produtos MERIS PCC, Anexo D.), a correlação é inexistente. Pela informação que se pode extrair da Tabela 17, o coeficiente de correlação mais elevado é de 0,3219 e corresponde ao algoritmo inicial de Moses (2009), com duas bandas. Contudo, entre os valores resultantes da aplicação dos algoritmos de Moses e os



produtos obtidos pelos modelos CCMERIS (conc\_chl), existe correlação:  $r = 0,9382$ ., superior quando analisados os *matchups*, mas ainda assim significativa quando analisado o conjunto de todos os dados de satélite em S4, de 2005 a 2009 (Gráficos 43 e 44,  $r = 0,8846$ ).

Tabela 17: Análise entre dados Chl-a *in-situ* e valores estimados pelos algoritmos de Moses, Gitelson e Gilerson, com produtos Rrs CCMERIS.

15 Matchups (2005 - 2009)							
DATA	Coef.	Moses		Gilerson			
		2b_Alg	3b_Alg	2b_Alg (without index)	2b_Alg	3b_Alg (without index)	3b_Alg
in-situ	a	0.7248	0.3877	0.4225	0.6144	0.4223	0.6097
	b	7.8419	6.7921	7.3894	9.6031	6.9315	8.9586
	$r^2$	0.1036	0.0199	0.1036	0.0984	0.0974	0.0921
	MSE	78.7446	59.8135	38.7229	90.4876	35.1235	81.8245
	RMSE	8.8738	7.7339	6.2228	9.5125	5.9265	9.0457
CCMERIS conc_chl	a	0.8687	1.0556	0.5065	0.7569	0.5236	0.7788
	b	-1.2389	-7.3341	2.0956	1.6208	1.3984	0.6519
	$r^2$	0.8768	0.8556	0.8768	0.8802	0.8828	0.8858
	MSE	14.7087	48.4710	34.8023	9.0099	38.6898	11.3610
	RMSE	3.8352	6.9621	5.8993	3.0017	6.2201	3.3706

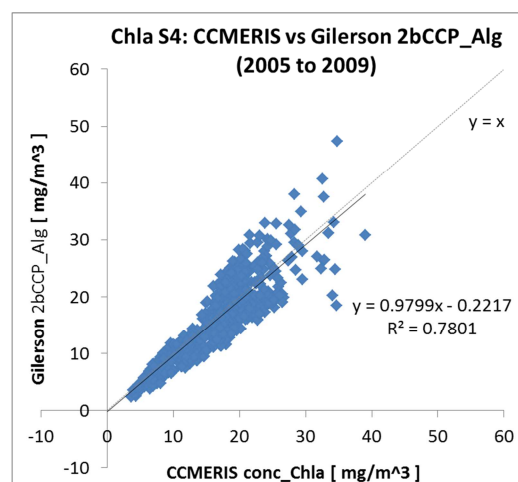
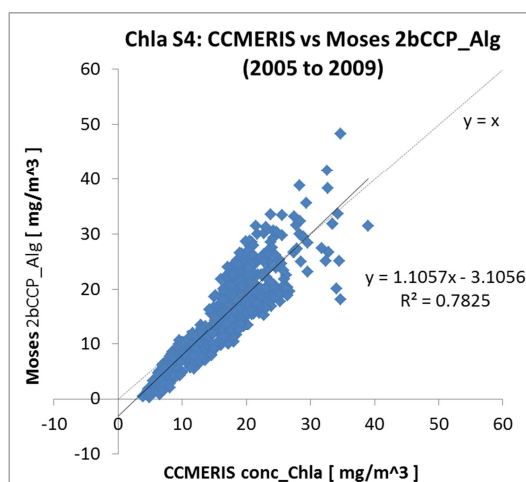


Gráfico 43. e 44.: Produtos Chl-a CCMERIS vs algoritmo de 2 bandas de Moses (2009) e Gilerson (2010), com Rrs CCMERIS.

Na Tabela 18 encontra-se o resumo dos resultados da aplicação dos algoritmos aos dados CCMERIS\_FP. As análises aos resultados são semelhantes às anteriores, sendo no entanto importante referir que muitos dos valores de Chl-a obtidos por estes modelos foram inferiores a zero, principalmente com os modelos iniciais (de duas e três bandas), pelo que assim perderam cerca de 15% dos registos válidos de Chl-a (diminuição de *matchups*).

Recorrendo aos valores de refletância  $Rrs$  dos produtos MERIS ESA, existe uma boa correlação entre os dados *in-situ* e os algoritmos de duas bandas e com o próprio  $R2 = Rrs_{665}^{708}$  ( $r^2 = 0,80$  e RMSE inferior a  $2,1 \text{ mg/m}^3$ , Tabela 19 e Gráfico 47; o teste com  $R2$  é teste de validação, aplicado pelo próprio Moses e Gitelson, em 2009 – como se pode verificar pela análise dos gráficos 45 a 48 e em comparação com a tabela, uma fraca correlação entre o coeficiente entre as refletâncias,  $R2$  ou  $R3$ , e os valores de Chla, vai provocar uma má correlação entre os valores estimados pelo modelo e os valores *in-situ*). Também com estas refletâncias MERIS ESA, e apesar da melhor correlação, os algoritmos de Moses revelaram valores negativos de concentração de Chl-a (os registos foram eliminados, daí a menor disponibilidade de *matchups*).

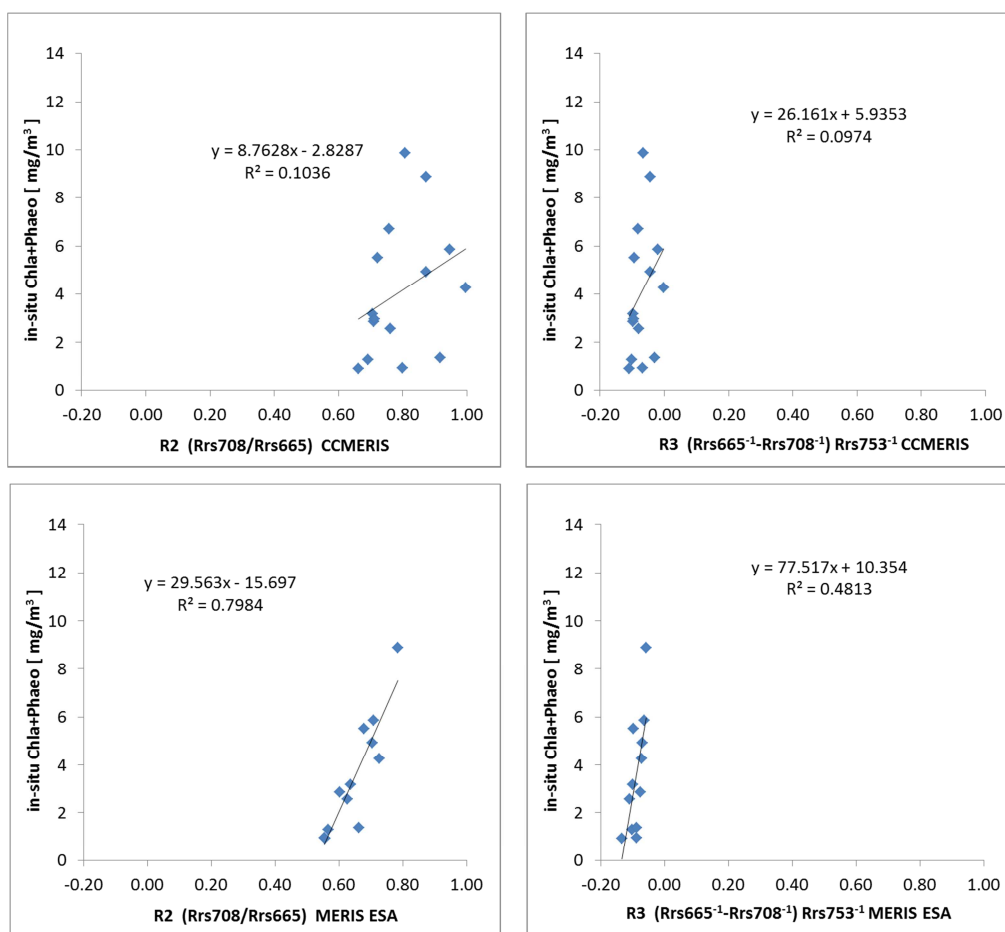
Tabela 18: Análise entre dados Chl-a *in-situ* e valores estimados pelos algoritmos de Moses, Gitelson e Gilerson, com produtos  $Rrs$  CCMERIS\_FP.

Moses e Gilerson (2005 - 2009)							
DATA	Coef.	Moses		Gilerson			
		2b_Alg (16match)	3b_Alg (17match)	2b_Alg (without index; 18match)	2b_Alg (18match)	3b_Alg (without index; 19match)	3b_Alg (19match)
in-situ	a	0.4912	0.5935	0.0928	0.1483	0.1654	0.2421
	b	5.7385	4.7481	6.3632	8.0873	7.3896	9.5414
	$r^2$	0.0606	0.1166	0.0067	0.0085	0.0329	0.0337
	MSE	44.5569	34.4887	29.6318	58.6161	36.0695	76.6806
	RMSE	6.6751	5.8727	5.4435	7.6561	6.0058	8.7567
CCMERIS_ FP conc_chl	a	1.6655	1.4288	0.9967	1.4143	0.7214	1.0423
	b	-5.8133	-4.2830	-0.8348	-2.0565	2.8484	2.9939
	$r^2$	0.7980	0.7885	0.8425	0.8421	0.8573	0.8547
	MSE	10.0708	7.8023	2.9993	7.6662	3.2905	16.5272
	RMSE	3.1735	2.7933	1.7318	2.7688	1.8140	4.0654

Tabela 19: Análise entre dados Chl-a *in-situ* e valores estimados pelos algoritmos de Moses, Gitelson e Gilerson, com produtos  $Rrs$  MERIS ESA.

Moses e Gilerson (2005 - 2009)							
DATA	Coef.	Moses		Gilerson (12match)			
		2b_Alg (8match)	3b_Alg (9match)	2b_Alg (without index)	2b_Alg	3b_Alg (without index)	3b_Alg
in-situ	a	1.1509	0.8755	0.9655	1.2852	0.7038	0.9925
	b	-0.7997	1.1601	0.5471	0.2986	3.9998	4.7572
	$r^2$	0.7086	0.3747	0.7984	0.8089	0.4813	0.4948
	MSE	2.6674	7.3338	1.4587	4.2658	12.0540	27.8121
	RMSE	1.6332	2.7081	1.2078	2.0654	3.4719	5.2737
MERIS ESA algal_2	a	0.8302	0.6266	0.7476	0.9996	0.4748	0.6716
	b	1.2729	2.8726	2.0273	2.2572	5.2615	6.5310
	$r^2$	0.5801	0.3193	0.7043	0.7199	0.3222	0.3333
	MSE	4.2718	11.5900	4.2504	8.1809	21.1287	40.2478
	RMSE	2.0668	3.4044	2.0616	2.8602	4.5966	6.3441



Gráfico 45. a 48: Relação entre a variável R2 e os dados de Chl-a medidos *in-situ*.

### 3.3.3.2. Gons et al

Do trabalho desenvolvido por Gons (capítulo 2.4.4.2.), foram aplicados três modelos aos produtos PCC e ESA, mas também um outro modelo, variante da fórmula G2 (FLH). Substituiu-se o coeficiente do valor da altura da linha de fluorescência (FLH), pelo coeficiente MCI - *Maximum Chlorophyll Index*<sup>1</sup>, G2 (MCI).

Os valores obtidos pelo algoritmo caracterizado pelo exponencial das razões entre refletâncias *Rrs* (G3), não revelaram qualquer relação com os nossos dados *in-situ* ou mesmo com os valores determinados pelos modelos aplicados às imagens de satélite, tanto por parte do PCC (CCMERIS ou CCMERIS\_FP) ou por parte da ESA (MERIS ESA). O algoritmo G1 (bb) (diretamente dependente do valor do *backscatter*), determinou valores de Chl-a que se encontram em correlação com os valores *conc\_chl* determinados pelo modelo CCMERIS (15 matchups G1 (bb) vs *conc\_chl*,  $r = 0,9362$  e RMSE de 4,9869 mg/m<sup>3</sup>, Tabela 20) e pelo

<sup>1</sup> MCI - *Maximum Chlorophyll Index*, Índice Máximo de Clorofila-a; é a mesma fórmula de determinação descrita em 2.4.4.2., para o FLH, mas recorre às razões e aos valores de refletâncias entre bandas diferentes: 680, 708 e 753 nm.

modelo CCMERIS\_FP (15 matchups G1 (bb) vs CCMERIS\_FP conc\_chl,  $r = 0,9105$  e RMSE de  $2,1076 \text{ mg/m}^3$ , Tabela 21 e Gráfico 49). Mas, quando analisado com os dados *in-situ*, este algoritmo não se revela eficaz quando aplica as refletâncias dos modelos do Projeto CoastColour (mesmas Tabelas 20 e 21, CCMERIS:  $r^2 = 0,1024$  e CCMERIS\_FP:  $r^2 = 0,0387$ ), sendo que, se se aplicarem as refletâncias MERIS ESA, o algoritmo permite um coeficiente de determinação de 71 %. Os modelos G2, G2 (FLH) e G2 (MCI), apresentam necessariamente resultados diferentes entre si e G2 (MCI) revela-se, no geral, melhor que G2 (FLH). Para os produtos resultantes do processamento CCMERIS, G2 (MCI) consegue estimar melhor os produtos de conc\_chl (em 72%) comparativamente ao algoritmo G2 (FLH) que só consegue um valor de 41 %. Contudo, G2 (MCI) não contribui em (praticamente) nada para a determinação dos valores *in-situ* ( $r^2 = 0,0201$ ). Para os *matchups* do modelo CCMERIS\_FP, é também o algoritmo G2 (MCI) que estima melhor os produtos de satélite ( $r^2 = 0,8938$ , ainda melhor que para os produtos CCMERIS, Gráfico 50) e também nenhum dos G2 consegue estimar os valores *in-situ*. Aplicando as refletâncias MERIS ESA, o algoritmo da fluorescência apresenta coeficientes de correlação abaixo dos 0,05 (em comparação com os dados *in-situ* e com algal\_2), enquanto que o algoritmo do índice máximo de Chl-a apresenta um  $r = 0,8553$  em relação aos produtos de satélite algal\_2 e  $r = 0,729$  comparativamente aos dados *in-situ*.

Tabela 20: Análise entre dados Chl-a *in-situ* e valores estimados pelos algoritmos de Gons et al, com produtos Rrs CCMER

Gons algorithm (2005 to 2009)					
DATA	Statistics	G1 (bb) (15match)	G2 (FLH) (10match)	G2 (MCI) (15match)	G3 (15match)
<b>in-situ</b>	a	0.5222	-0.0145	0.0229	-0.0083
	b	7.6790	0.2877	0.5551	0.4766
	$r^2$	0.1024	0.2634	0.0201	0.2046
	MSE	51.6535	19.5281	19.3687	21.1333
	RMSE	7.1870	4.4191	4.4010	4.5971
<b>CCMERIS conc_chl</b>	a	0.6294	-0.0200	0.0567	-0.0016
	b	1.0879	0.4320	-0.1384	0.4649
	$r^2$	0.8764	0.4130	0.7260	0.0466
	MSE	24.8692	99.0108	214.2155	224.6144
	RMSE	4.9869	9.9504	14.6361	14.9871

Tabela 21: Análise entre dados Chl-a in situ e valores estimados pelos algoritmos de Gons et al, com produtos Rrs CCMERIS\_FP.

CCMERIS_FP Gons algorithm (2005 to 2009)					
DATA	Statistics	G1 (bb) (15match)	G2 (FLH) (15match)	G2 (MCI) (11match)	G3 (15match)
in-situ	a	0.3193	-0.0328	0.0907	0.0025
	b	5.8343	1.9781	0.9977	0.8411
	$r^2$	0.0387	0.0290	0.0627	0.0067
	MSE	30.9815	13.3585	13.2682	18.1174
	RMSE	5.5661	3.6549	3.6425	4.2565
CCMERIS_FP conc_chl	a	1.2371	-0.0741	0.2754	0.0132
	b	2.6261	2.4283	1.1373	0.7467
	$r^2$	0.8290	0.2113	0.8938	0.2690
	MSE	4.4422	49.0357	64.6681	59.9516
	RMSE	2.1076	7.0026	8.0416	7.7428

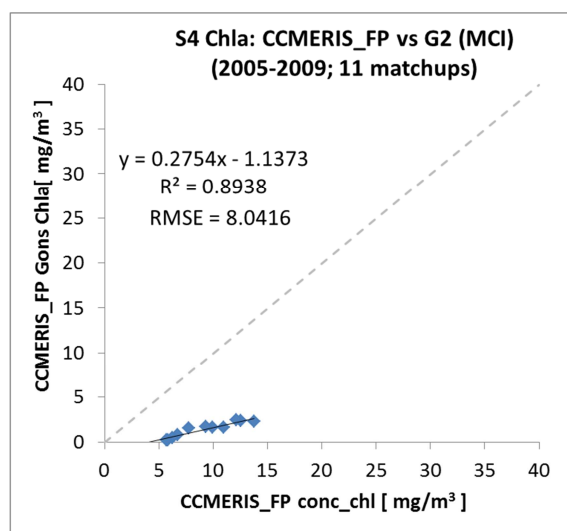
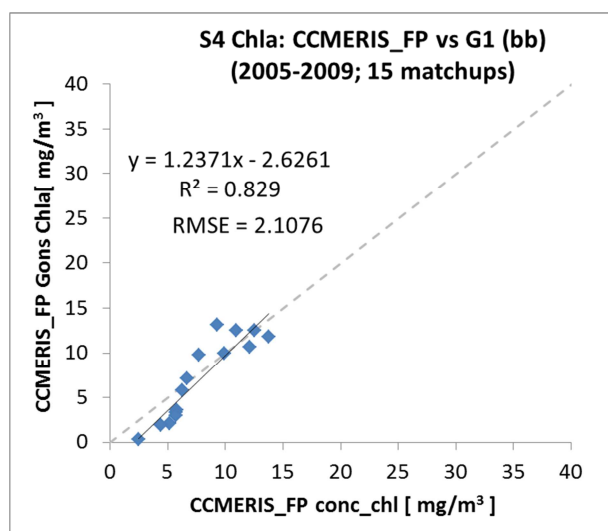


Gráfico 49. e 50: Relação entre os produtos CCMERIS\_FP e os algoritmos de Gons.

Tabela 22: Análise entre dados Chl-a *in-situ* e valores estimados pelos algoritmos de Gons et al, com produtos Rrs MERIS ESA.

Gons algorithm (2005 to 2009)					
DATA	Statistics	G1 (bb) (9match)	G2 (FLH) (12match)	G2 (MCI) (6match)	G3 (9match)
in-situ	a	0.9434	0.0046	0.1206	-0.0767
	b	0.4866	1.0742	0.1184	1.3592
	$r^2$	0.7104	0.0017	0.4939	0.2427
	MSE	1.6865	11.4634	23.2124	11.6315
	RMSE	1.2987	3.3858	4.8179	3.4105
MERIS ESA algal_2	a	0.6750	0.0046	0.1220	-0.0933
	b	2.2978	1.0786	0.1801	1.3742
	$r^2$	0.6398	0.0025	0.7315	0.4912
	MSE	4.2320	10.2311	20.2474	13.0433
	RMSE	2.0572	3.1986	4.4997	3.6116

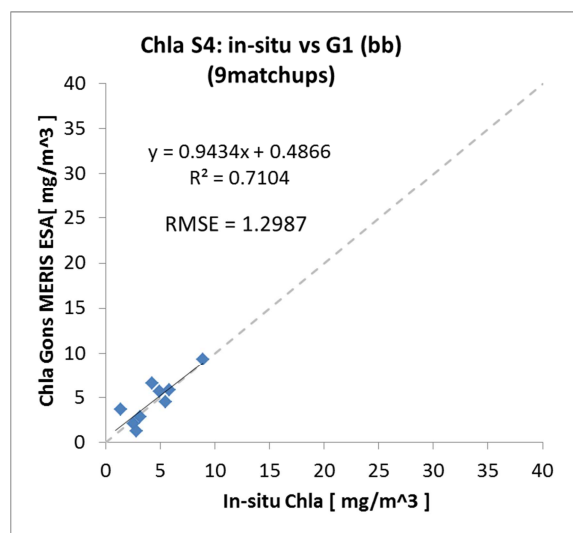


Gráfico 51: Dados *in-situ* vs algoritmo G1 de Gons, recorrendo às *Rrs* MERIS ESA.

Assim, de facto o melhor algoritmo para determinação dos valores *in-situ* na estação 4 é o G1 (bb) (Gráfico 51), mas aplicado aos antigos produtos MERIS (MERIS ESA).

Todos os gráficos correspondentes às análises apresentadas nas Tabelas 20, 21 e 22 encontram-se no Anexo E.

### 3.3.3.3. Nechad e Ruddick

As concentrações de Chl-a determinadas pelo algoritmo desenvolvido por Nechad e Ruddick (capítulo 2.4.4.3.), baseadas também nos valores de refletância ( $Rr7s = RLW/\pi$  do PCC, e  $Rrs = \rho/\pi$  em MERIS ESA), apresentam resultados um pouco diferentes dos algoritmos anteriores. Os valores de MUMM\_Chla, estimados pelo algoritmo, correlacionam-se positivamente com os valores de Chl-a CCMERIS e CCMERIS\_FP (coeficientes de determinação de 0,8767 e 0,7555, respetivamente), no entanto, não mostrando ainda assim correlação significativa com os dados recolhidos *in-situ* em S4, este algoritmo (com as *Rrs* do modelo CCMERIS\_FP), torna-se o algoritmo que melhor aproxima os valores estimados aos dados medidos: correlação de 0,3245 ( $r^2 = 0,1053$ , Gráfico 52) para CCMERIS e  $r = 0,5961$  ( $r^2 = 0,3553$ , Gráfico 53), para CCMERIS\_FP. Considerando todos os *matchups* do modelo CCMERIS\_FP com o algoritmo MUMM\_Chla (total de 24 registos entre 2005 e 2012), o coeficiente de determinação torna a descer para os 0,1294 (Gráfico 54). Mas, se se considerarem os produtos de refletância MERIS do modelo da ESA, apesar de o algoritmo determinar alguns valores negativos para a Chl-a, para os restantes (9 *matchups*) existe uma boa ligação entre MUMM\_Chla e dados *in-situ*: dependência de 78,9%, ou seja, correlação de

0,8884, o erro quadrático médio é inferior a 2,2018 (portanto, RMSE menor que 1,5 mg/m<sup>3</sup>, Gráfico 55) e, além disso, a variação de uma unidade numa das variáveis, implica a variação de praticamente a mesma unidade na outra variável ( $a = 1,06$ ).

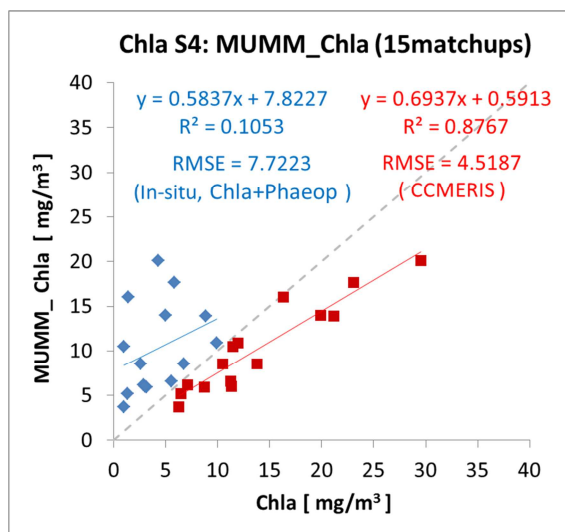


Gráfico 52. Dados Chl-a *in-situ* e CCMERIS vs modelo MUMM\_Chla com refletâncias CCMERIS (2005 a 2009).

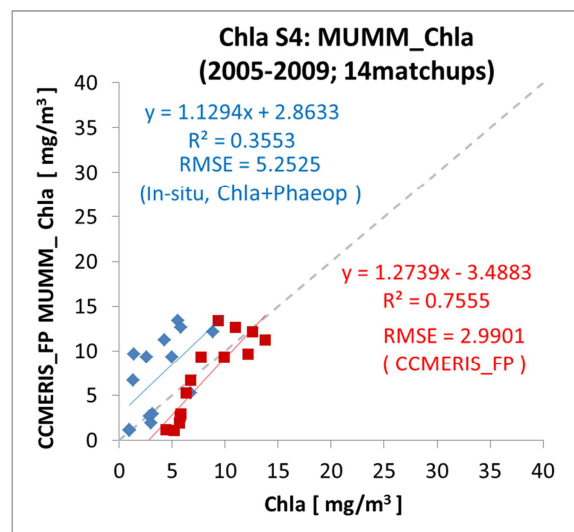


Gráfico 53. Dados Chl-a *in-situ* e CCMERIS\_FP vs modelo MUMM\_Chla com refletâncias CCMERIS\_FP(2005 a 2009).

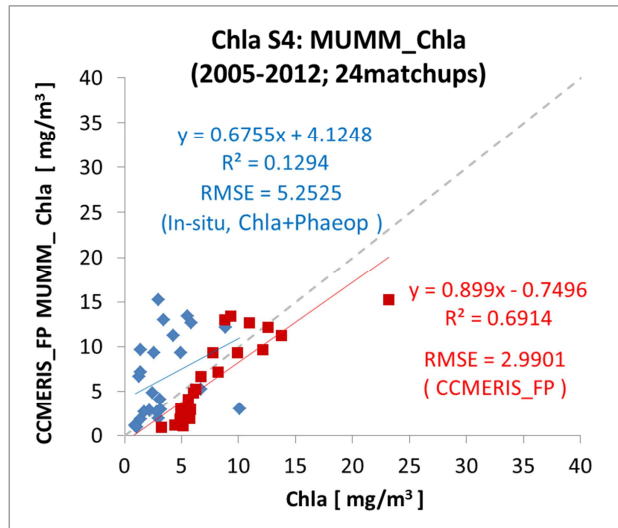


Gráfico 54. Dados Chl-a *in-situ* e CCMERIS\_FP vs modelo MUMM\_Chla com refletâncias CCMERIS\_FP (2005 a 2012).

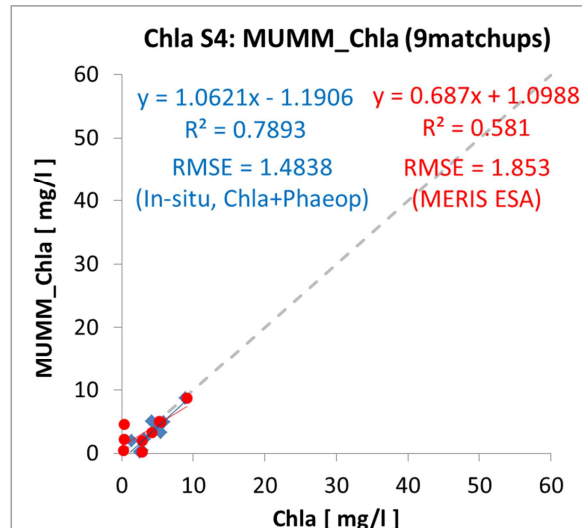


Gráfico 55. Dados Chl-a *in-situ* e algal\_2 vs modelo MUMM\_Chla com refletâncias MERIS ESA (2005 a 2009).

Para a validação dos produtos TSM, os algoritmos de Nechad e Ruddick foram testados sob diversas variantes (todos os Gráficos referentes aos valores das Tabelas 24 a 27, estão em Anexo F.). Um teste efetuado, e que revelou bom resultado na aplicação do modelo sobre os produtos *Rrs* do processamento MERIS ESA, foi a substituição da banda de referência da fórmula MUMM\_SPM (referida neste trabalho como Nechad\_3). Testou-se a substituição da banda dos 753 nm pela dos 709 nm e assim, com este algoritmo (Nechad\_3\_709 nm), obtiveram-se estimativas da concentração de TSM mais próximas dos valores *in-situ* medidos na estação S4. Com os produtos de CCMERIS e CCMERIS\_FP, a correlação entre os dados é praticamente a mesma, mas o RMSE é significativamente mais baixo com a aplicação da refletância do comprimento de onda 709 nm (Tabelas 24 a 27 e Gráfico 56). Considerando a informação processada pela MERIS ESA, a determinação dos valores de TSM a partir dos valores dos dados *in-situ* é dependente em 65,5 %, a contrastar com os 58,6% do algoritmo Nechad\_3, 753 nm. (Gráfico 57). Aquando da comparação entre produtos TSM dos modelos do satélite (total\_susp e conc\_tsm, respetivamente ESA e PCC) com os produtos determinados pelo algoritmo Nechad\_3, com os dois comprimentos de onda 709 e 753 nm, todos apresentam correlações elevadas ( $r > 0,85$ , exemplo, Gráfico 58), especialmente as referentes à utilização de produtos MERIS da ESA (dependências superiores a 95 %). Nesta análise, apesar do algoritmo com refletância no comprimento de onda 709 nm revelar um coeficiente de correlação um pouco mais elevado que o algoritmo com a refletância nos 753 nm, o RMSE é significativamente mais elevado para Nechad\_3\_709 nm (30,6044), pelo que o modelo a escolher seria o Nechad\_3\_753 nm (RMSE = 4,0534, Tabela 26). Nechad\_4, fórmula para determinar TSM baseada na refletância no comprimento de onda dos 665 nm (apesar de ser considerada uma banda destinada à medição da absorção de Chl-a, Tabela 1), tal como o algoritmo anterior, faz correlacionar melhor os valores de TSM estimados com os valores processados pelos modelos de satélite (CCMERIS, CCMERIS\_FP e MERIS ESA, com coeficientes de determinação entre os 59 e os 89 %), do que com os valores medidos *in-situ* (coeficientes de determinação entre os 3 e os 54 %), sendo que os valores mais elevados ocorrem aquando da utilização da informação de refletâncias das imagens processadas pela ESA (Gráfico 59). A fórmula apresentada como Nechad\_5 foi aplicada a dois comprimentos de onda, 620 nm (Nechad\_5\_620 nm) e 709 nm (Nechad\_5\_709 nm). Da análise das tabelas 24 a 27, conclui-se que sobre os dados *in-situ* e aplicando refletâncias dos produtos do PCC (CCMERIS e CCMERIS\_FP), trata-se de um algoritmo pouco eficaz (independentemente das bandas usadas, como o exemplo do Gráfico 60). Quando se recorre a produtos das imagens processadas pela ESA (refletâncias MERIS ESA), o algoritmo estima valores considerados estatisticamente significativos (em comparação com os dados medidos *in-situ*:  $r = 0,8096$  com a fórmula Nechad\_5\_709 nm e  $r = 0,7708$  para Nechad\_5\_620 nm). Destes algoritmos, o

Nechad\_5\_709 nm é o mais próximo ao modelo da ESA, uma vez que os valores determinados por este revelam maior coeficiente de correlação com os valores de total\_susp que com os conc\_tsm do processamento PCC ( $r = 0,9857$ , Gráfico 61).

Tabela 23: Coeficientes para o algoritmo TSM Nechad geral, segundo [20].

Nechad TSM algorithm coefficients for MERIS bands		
Var.	620 nm	709 nm
$A^{\rho}$	212.13	537.05
$B^{\rho}$	2.47	1.15
$10^{-2}C^{\rho}$	15.33	18.87

A fórmula geral para o TSM (Nechad\_5), aplicada às bandas 620 (associada às partículas em suspensão) e 709 nm (e cujos coeficientes estão representados na Tabela 23), não consegue determinar valores próximos aos medidos localmente. De novo, considerando os produtos determinados pelos modelos de cada processamento (Tabela 26), os dados da ESA geram produtos mais correlacionados, enquanto que, com os PCC, o algoritmo Nechad\_5 claramente subestima os valores de TSM fornecidos pelo próprio modelo PCC (conc\_tsm, Gráfico 30).

Tabela 24. 25. 26. e 27. Análise entre dados TSM *in-situ* e valores estimados pelos algoritmos de Nechad e Ruddick, com produtos Rrs CCMERIS, CCMERIS\_FP e MERIS ESA para matchups de 2005 a 2009 e CCMERIS\_FP para 2005-2012, respetivamente.

Nechad algorithms (2005 to 2009, 15matchups)						
DATA	Statistics	Nechad_3		Nechad_4	Nechad_5	
		709nm	753nm	665nm	620nm	709nm
in-situ	a	0.3033	0.1082	0.0394	0.0341	0.0721
	b	5.8668	4.2110	1.1595	3.5824	1.6660
	$r^2$	0.2644	0.2642	0.1887	0.2028	0.2645
	MSE	359.0636	724.6680	1039.1937	904.0462	937.2908
	RMSE	18.9490	26.9197	32.2365	30.0674	30.6152
CCMERIS conc_tsm	a	0.4283	0.1533	0.0587	0.0493	0.1019
	b	1.9224	2.7892	0.5453	3.1004	0.7281
	$r^2$	0.8357	0.8396	0.6643	0.6722	0.8357
	MSE	325.5781	709.8393	1027.1642	896.1975	923.0225
	RMSE	18.0438	26.6428	32.0494	29.9366	30.3813

Nechad algorithms (2005 to 2009, 15matchups)						
DATA	Statistics	Nechad_3		Nechad_4	Nechad_5	
		709nm	753nm	665nm	620nm	709nm
in-situ	a	1.1123	1.0828	0.1762	0.2054	0.2643
	b	-0.0412	-3.5133	1.4515	3.4565	0.2655
	$r^2$	0.2998	0.2923	0.2400	0.2564	0.3000
	MSE	193.0745	176.0352	745.6936	595.1193	649.5780
	RMSE	13.8951	13.2678	27.3074	24.3951	25.4868
CCMERIS_ FP conc_tsm	a	7.4249	7.3241	1.2596	1.4929	1.7640
	b	8.6835	4.6066	2.5083	4.5927	2.3404
	$r^2$	0.7685	0.7691	0.7057	0.7793	0.7686
	MSE	1340.4147	1052.8780	14.9674	45.4972	33.6355
	RMSE	36.6117	32.4481	3.8688	6.7452	5.7996

Nechad algorithms (2005 to 2009, 12matchups)						
DATA	Statistics	Nechad_3		Nechad_4	Nechad_5	
		709nm	753nm	665nm	620nm	709nm
in-situ	a	1.3064	0.3208	0.2666	0.2213	0.3105
	b	-6.6806	1.0265	0.4639	2.0577	-1.3131
	$r^2$	0.6553	0.5859	0.5428	0.5941	0.6554
	MSE	80.4691	495.6225	651.2244	604.5287	617.0127
	RMSE	8.9705	22.2626	25.5191	24.5872	24.8397
MERIS ESA total_susp	a	4.0210	1.0407	0.8657	0.6981	0.9556
	b	5.7828	3.6792	1.7362	4.0413	1.6498
	$r^2$	0.9657	0.9594	0.8900	0.9193	0.9657
	MSE	936.6306	16.4302	1.6960	4.4571	2.0878
	RMSE	30.6044	4.0534	1.3023	2.1112	1.4449

Nechad algorithms (2005 to 2012, 29matchups)						
DATA	Statistics	Nechad_3		Nechad_4	Nechad_5	
		709nm	753nm	665nm	620nm	709nm
in-situ	a	0.4477	0.1718	0.0637	0.0894	0.1308
	b	38.1430	5.2453	4.1450	6.0957	3.4729
	$r^2$	0.0513	0.1049	0.0310	0.0506	0.0802
	MSE	288.2150	541.1980	766.9733	626.6782	686.1379
	RMSE	16.9769	23.2637	27.6943	25.0335	26.1942
CCMERIS_ FP conc_tsm	a	5.6272	1.5527	0.9528	1.1009	1.3373
	b	12.2690	5.5632	2.9855	5.2689	3.1902
	$r^2$	0.7213	0.7373	0.5977	0.6601	0.7213
	MSE	1006.3029	63.0908	12.1017	35.7351	24.1714
	RMSE	31.7223	7.9430	3.4787	5.9779	4.9164



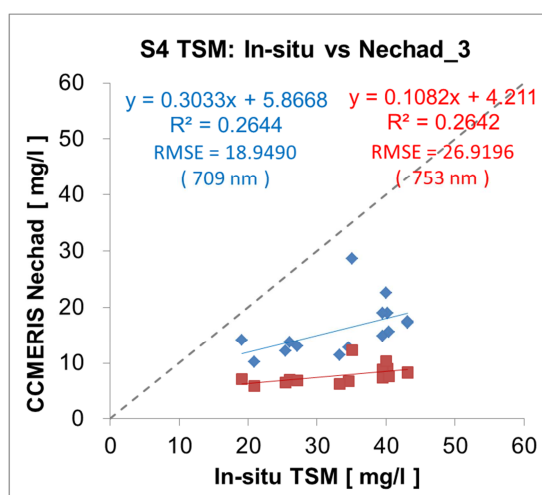
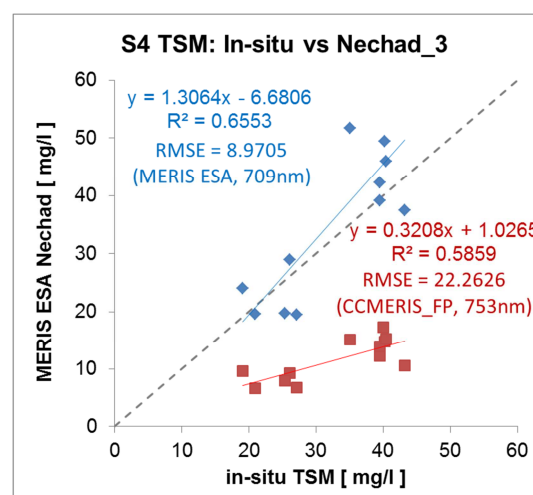
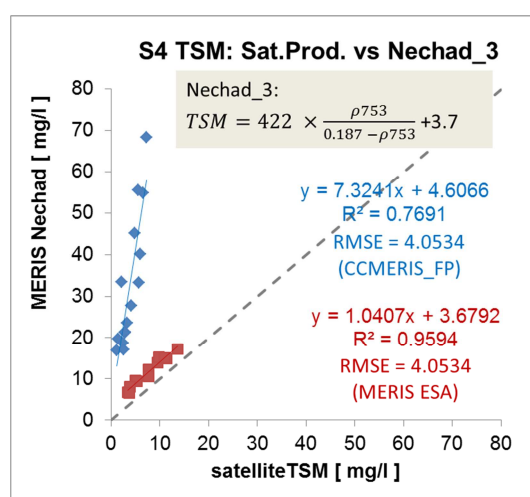
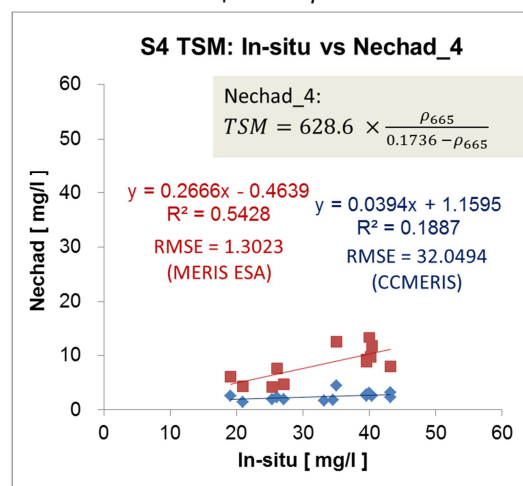
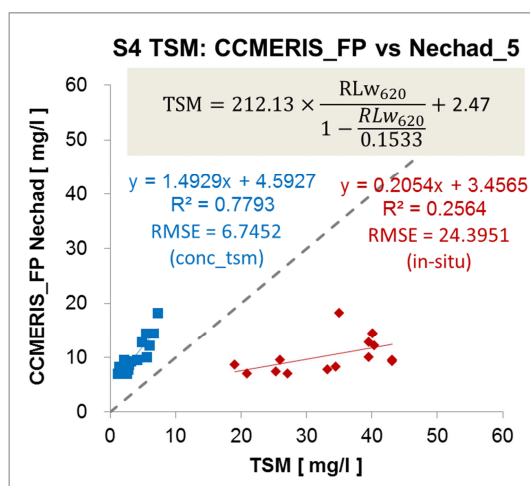
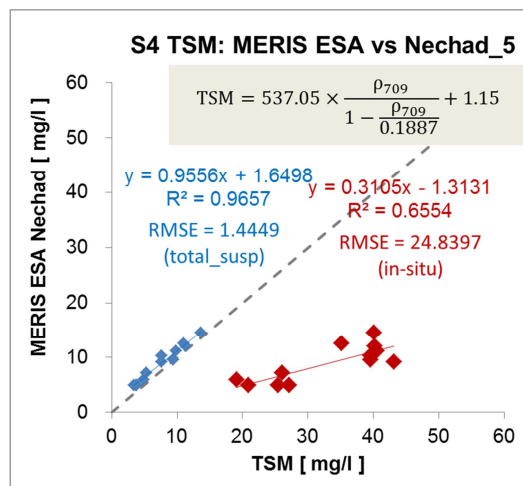
Gráfico 56: Dados TSM *in-situ* vs algoritmo Nechad\_3, recorrendo a produtos RLw CCMERIS.Gráfico 57: Dados TSM *in-situ* vs algoritmo Nechad\_3, recorrendo a produtos  $\rho$  MERIS ESA.

Gráfico 58: Dados TSM de satélite vs algoritmo Nechad\_3.

Gráfico 59: Dados TSM *in-situ* vs algoritmo Nechad\_4, recorrendo a produtos RLw e  $\rho$ , refletâncias CCMERIS e MERIS ESA, respetivamente.Gráfico 60: Dados TSM *in-situ* e CCMERIS\_FP vs algoritmo Nechad\_5, recorrendo a produtos RLw, CCMERIS\_FP.Gráfico 61: Dados TSM *in-situ* e algal\_2 vs algoritmo Nechad\_5, recorrendo a produtos  $\rho$ , MERIS ESA..

### 3.3.4. MERIS<sup>1</sup> vs MODIS

O sensor MODIS não possui algoritmos adaptados à determinação de concentrações de produtos junto à costa, além de que apenas disponibiliza informação sobre o produto Chl-a (não possui a concentração direta de TSM). Pela análise do Gráfico 62, apesar de apenas 9 *matchups* (dos produtos MODIS, só se utilizou informação recolhida entre 2005 a 2007, disponibilizada pela equipa do centro PML), pode-se concluir que na zona do Estuário do Tejo existe uma sobrestimação dos valores de Chl-a por parte do modelo deste sensor, onde a raiz do erro quadrático médio é superior a 12,5 mg/m<sup>3</sup>. Analisando ainda as concentrações determinadas pelos diferentes satélites e modelos, verifica-se que não há qualquer relação entre os produtos nos 5 *matchups* com dados *in-situ* (Gráfico 63) e, considerando os 154 *matchups* entre imagens MERIS processadas pelo PCC e imagens MODIS (entre os anos de 2005 a 2007, com diferenças de passagem inferiores a 3 horas), a relação entre CCMERIS e MODIS é desprezível ( $r^2 = 0,1093$ , Gráfico 64).

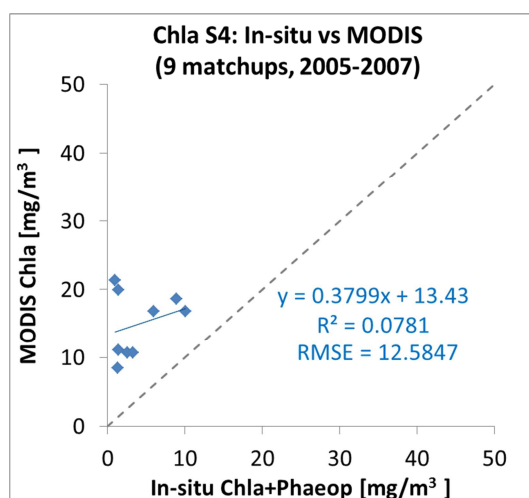


Gráfico 62.: Dados *in-situ* da estação 4 vs produtos MODIS (2005 a 2007).

<sup>1</sup> De recordar que não possuímos para este estudo de todos os produtos MERIS ESA desde 2005 (muito moroso pedir pelo EOLi), solicitamos apenas das imagens *matchup* com dados *in-situ*.

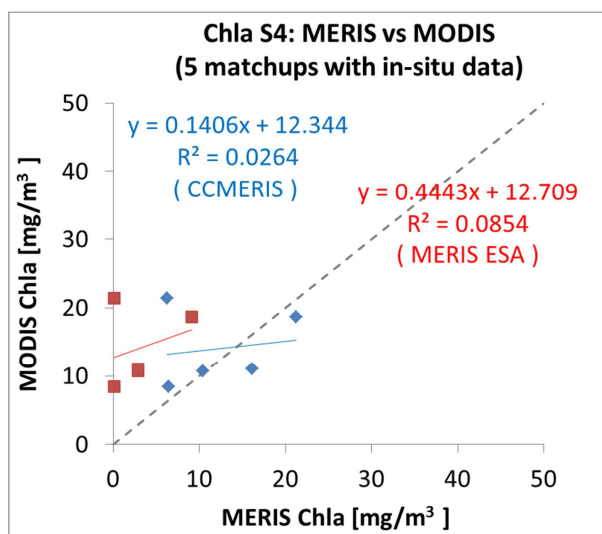


Gráfico 63.: Produtos de satélite CCMERIS e MERIS ESA vs MODIS.

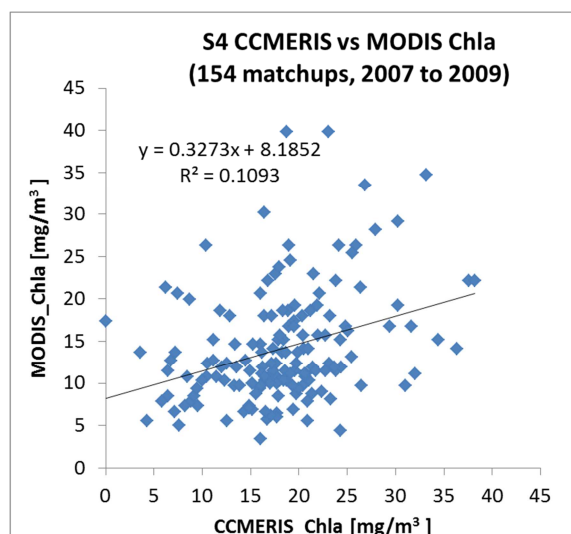
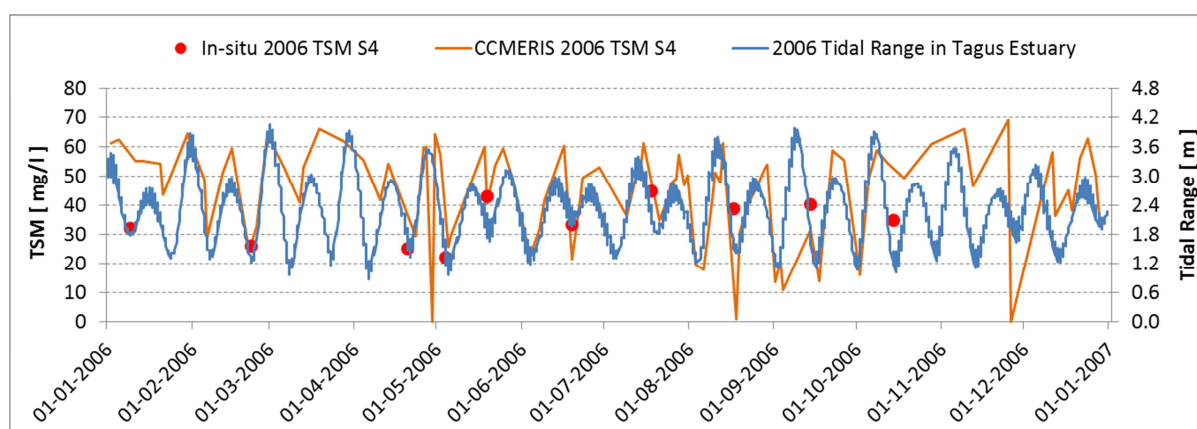
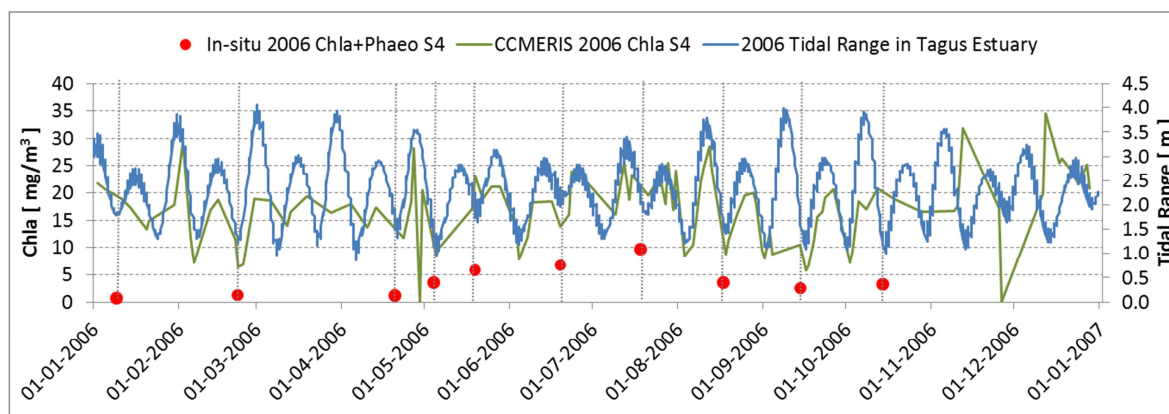


Gráfico 64.: Produtos de satélite CCMERIS vs MODIS.

### 3.3.5. Produtos CoastColour e a Maré

Um dos fatores que mais influenciam a dinâmica dos estuários são os movimentos das águas devido às marés. Surgiu por isso, e de forma natural, a ideia de se analisarem os valores de concentração dos produtos comparativamente ao movimento da maré no Estuário do Tejo. Consideraram-se dados cuja diferença horária entre registo de imagem e pico da maré (hora de maré alta ou baixa) fosse inferior a 3 horas.

Da análise dos dados, ressalta a boa aproximação gráfica, principalmente dos produtos TSM (Gráficos 65 e 66) e obtiveram-se resultados interessantes: quanto maior é a amplitude da maré, também maior é a concentração de TSM estimada pelo PCC, ( $r^2 = 0,8025$ , Gráfico 67) e, pela análise do Gráfico 68 e pelos valores expostos, percebe-se que não existe relação entre a concentração de TSM estimada pelo PCC e a altura da maré mas, em épocas de maré baixa, os valores estimados são superiores a 40 mg/l, enquanto que em alturas de maré alta o modelo CCMERIS estima sempre valores abaixo dos mesmos 40 mg/l. Estes factos são no entanto justificáveis devido à própria órbita do satélite ENVISAT, associada aos ciclos de marés vivas, e ao movimento natural das correntes de maré. A hora da passagem do satélite associa marés altas a ciclos de maré morta e marés baixas a ciclos de marés vivas; ou seja, esta combinação faz com que em marés baixas existam maiores quantidades de sedimentos em suspensão (porque de facto o mar encontra-se num período de marés vivas, isto é, correntes de maré mais elevadas) [35]. Apesar do relativo acompanhamento dos valores, não existe qualquer relação entre o valor conc\_chl estimado pelo PCC e a amplitude da maré.



Gráficos 65. e 66.: Maré, produtos de Chl-a (em cima) e TSM (em baixo) recolhidos *in-situ* e respetivos valores CCMERIS na estação S4, ao longo do ano de 2006.

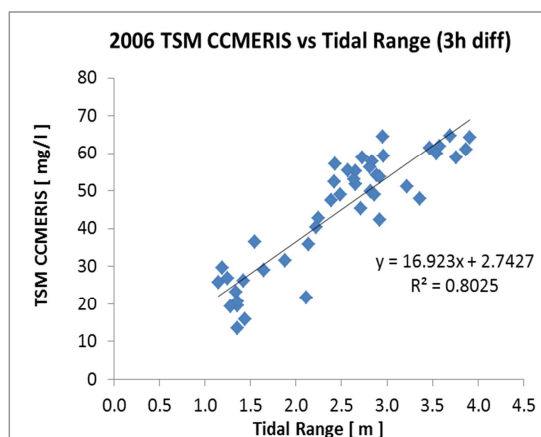


Gráfico 67.: Concentração de TSM CCMERIS vs e amplitude da maré em 2006.

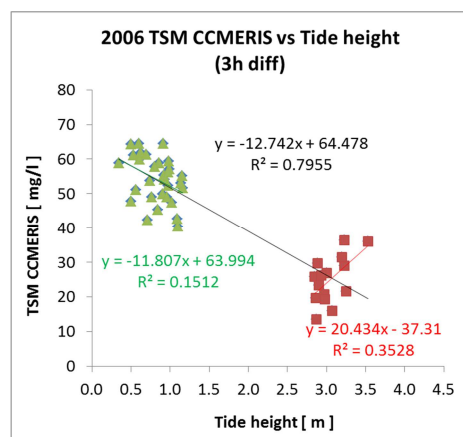


Gráfico 68.: Altura das marés em 2006 vs valores de TSM CCMERIS.

### 3.3.6. Produtos CoastColour e Caudal do Estuário

O volume de água que circula pelo Estuário está, naturalmente, associado à maré, mas também está em muito dependente da precipitação na bacia hidrográfica (integrada ao longo do leito do rio e afluentes), e do caudal do rio, por vezes volumoso devido a descargas de barragens. Os dados de caudal analisados são da estação de Almourol, que ainda se encontra bastante afastada do estuário do Tejo (mas era, na altura, a estação mais próxima com este tipo de informação). No entanto, os resultados da análise do caudal do rio *versus* produtos de satélite, foram de certo modo surpreendentes. Tomando em consideração o ano de 2006, observa-se que (Gráficos 69 e 70), em alturas de maiores picos de volume de massa de água, o modelo de TSM do PCC não acompanha tão bem a variação das marés (ciclo das marés vivas).

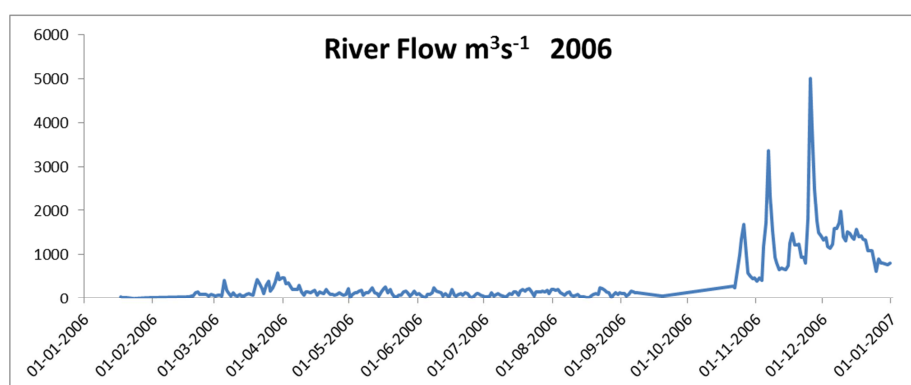


Gráfico 69.: Caudal no Estuário do Tejo em 2006.

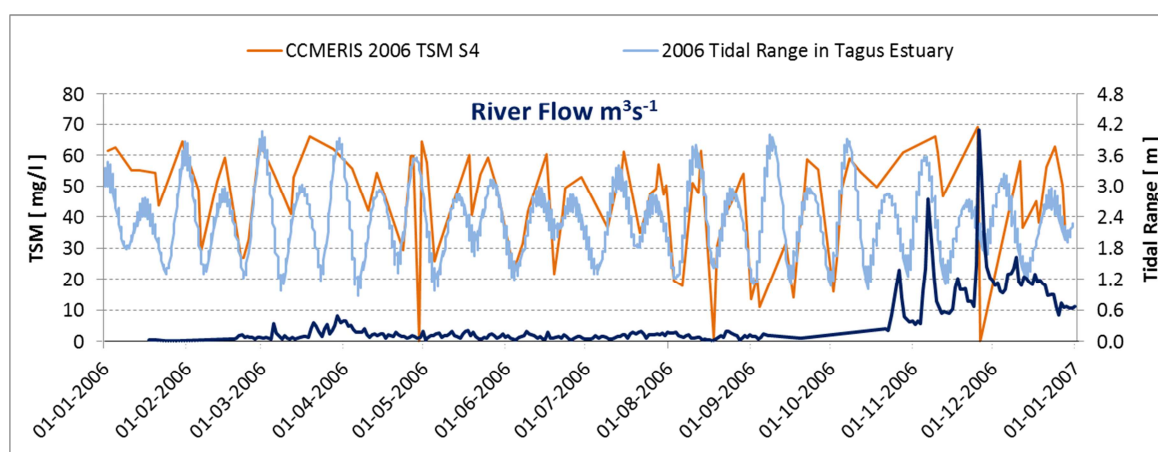


Gráfico 70.: Produtos conc\_tsm CCMERIS e caudal no Estuário do Tejo, em 2006.

Este acontecimento, aparente perturbação na determinação do produto TSM, ocorre também noutros anos (Anexo G.) e, por vezes, os desencontros produto CCMERIS / maré não se percebem tão bem devido à falta de registos de satélite. Estes factos, dessincronização entre produtos de satélite e maré, ou mesmo falha de dados, podem-se dever às fortes correntes no estuário, às grandes descargas de água provenientes do rio e, conseqüente por tudo isto, à grande movimentação da massa de água, que pode perturbar/contaminar o sinal refletido para a imagem obtida pelo satélite.

## 4. DISCUSSÃO

Este trabalho contou com duas fases distintas: na primeira, procedeu-se à organização de uma base de dados, com dados fiáveis de diversos produtos da água, recolhidos sobre diversas zonas costeiras, com informações sobre local e hora exata de recolha, de modo a fornecer ao modelo desenvolvido pelo Projeto CoastColour um conjunto de dados robusto e caracterizador de cada região; a fase seguinte, foi a de “pós análise” dos resultados do modelo do Projeto CoastColour (aplicados às imagens MERIS L1b), analisados por comparação com dados recolhidos no Estuário do Tejo, com produtos resultantes de processamentos anteriores e com produtos de outros satélites.

Na primeira fase, o processo de organização de dados foi muito moroso devido à grande não uniformidade da organização de algumas bases de dados que recebemos, devido a falhas no tratamento de alguns dados e/ou porque não estavam presentes todas as informações necessárias para a validação dos mesmos... No final do Projeto, a base de dados considerase robusta no entanto: 1. há zonas de estudo que não receberam qualquer tipo de informação recolhida *in-situ*, pelo que os modelos aplicados nessas áreas não estarão tão aprimorados como poderiam; 2. Muitos dos dados recebidos não foram utilizados por falta de parâmetros (como hora de recolha ou localização exata), ou porque foram recolhidos num período diferente do estipulado, entre 2005 e 2009 – poderia ser vantajoso o desenvolvimento de um modelo que considerasse todos os dados recebidos na área, independentemente da data de recolha, para melhor se perceber a dinâmica do local e de algum modo depois aplicar os resultados no modelo PCC. O que se deve reter, é a importância de uma base de dados mais completa, mais global (embora, ao mesmo tempo, mais regional) em termos de área e produtos que a atual BD\_PCC, para um melhor desempenho do Projeto.

Em relação à segunda fase, a partir da análise realizada neste trabalho, retiram-se duas conclusões: 1. não existe, ainda, um algoritmo ajustado à zona do Estuário do Tejo devido à sua complexidade e 2. é necessário melhorar o modelo do PCC. Certamente que a comunidade científica vai continuar a procurar melhorar os modelos para determinar a concentração de diversos produtos que a água contém, no entanto sabe-se que *“devido à complexidade das águas costeiras relativamente aos constituintes da água e componentes ópticos (o processo de validação e criação de mapas de incerteza) é um grande desafio e em alguns casos estamos no limite do que é possível (determinar) atualmente (...)”* [19].

Os registos *in-situ* da base de dados relativa ao site 4 do Projeto CoastColour foram efetuados apenas em zonas de costa e longe da área usada para validação (Sul de Portugal e Espanha, e costa afastada de Marrocos em comparação com o Estuário, na zona centro de Portugal) – tal pode ter influenciado o modelo gerado sobre esta área. Contudo, apesar de não se terem obtido resultados (muito) satisfatórios, por comparação com os resultados dos produtos/estimativas anteriores (o modelo da ESA), o modelo CCMERIS desenvolvido pelo PCC para determinação dos produtos TSM e Chl-a trouxe melhorias. Embora o coeficiente de determinação seja idêntico, houve um aperfeiçoamento em relação à determinação da concentração de matéria particulada em suspensão (gráficos 13 e 14), onde o RMSE baixou consideravelmente no modelo CCMERIS do PCC e a variação do produto conc\_tsm ficou bem mais semelhante à variação dos dados TSM *in-situ* (coeficiente angular mais próximo de 1). Relativamente à concentração de Clorofila-a e Feopigmentos, embora a variação seja exatamente a mesma, o modelo CCMERIS não gera valores correlacionados com os dados *in-situ* e sobrestima-os. O modelo CCMERIS\_QAA revelou-se desajustado à nossa área de validação, tanto para valores de TSM como para valores de Chl-a e o modelo CCMERIS\_FP, calibrado e desenvolvido a partir da análise da base de dados DBM\_PCC, mostrou algumas melhorias em relação ao modelo CCMERIS, embora não diretamente nos valores dos produtos finais (subestima em demasia a concentração de TSM). Além dos produtos de concentração finais (L2W), foi também abordada a análise de produtos L2R – a utilização dos produtos das refletâncias (RLw). Foi realizado um vasto estudo de modelos e algoritmos para determinação de Chl-a como de TSM, desenvolvidos por diversos investigadores, aplicados a diversos sensores e a várias áreas, descritas como tendo particularidades semelhantes à área deste estudo. No geral, não se obtiveram bons resultados aquando da comparação dos dados *in-situ* com os valores dos modelos/algoritmos utilizando os novos produtos RLw do PCC, tendo-se obtido resultados mais positivos na relação *in-situ* vs algoritmos com os produtos MERIS ESA anteriores. Com os produtos RLw do modelo CCMERIS, a melhor correlação obtida para determinação de valores de Chl-a segundo o modelo *Ocean Colour*, obteve-se com a aplicação dos produtos L2R do modelo CCMERIS\_FP recorrendo à fórmula do modelo OC4E, versão 4, ( $r^2 = 0,24$  com RMSE = 5,20, Tabela 13) ou qualquer uma das fórmulas da versão 6 (desvios semelhantes e erros quadráticos médios baixos). É importante notar que este modelo, ao contrário dos outros, quando aplicadas as refletâncias MERIS ESA, não estima valores de Chl-a ajustados (Tabelas 15 e 16). Aplicando os algoritmos de Moses, Gitelson e Gilerson, recorrendo às novas refletâncias obtidas pelo PCC, nenhum deles apresenta um coeficiente de determinação significativo, em todas as fórmulas, o valor máximo obtido foi inferior a 12 %. Contudo, considerando as imagens anteriores processadas pela ESA, o modelo atualizado de duas bandas (designado por Gilerson 2b\_Alg) permite estimar valores



de Chl-a com um coeficiente de correlação para com os dados *in-situ* em 0,8994 (Tabela 19). Dos algoritmos desenvolvidos pela equipa de Gons, o G2 (FLH) é o que acaba por determinar valores mais próximos dos medidos *in-situ*, mas não considerados estatisticamente significativos (com recurso a refletâncias CCMERIS,  $r^2 = 0,26$ , Tabela 20). Com o recurso às refletâncias anteriores processadas pelos modelos da ESA, G1 (bb) é o modelo que melhor estima a Chl-a na estação 4 do Estuário do Tejo ( $r = 0,84$  e RMSE inferior a  $1,5 \text{ mg/m}^3$ , Tabela 22), o que é de surpreender uma vez que este modelo foi desenvolvido tendo em conta águas mesotróficas, mas com valores de concentração de Clorofila-a bem mais elevados que os do Tejo. O algoritmo de Nechad e Ruddick para estimar os valores de Chl-a não se revela satisfatório aquando da sua aplicação aos produtos CCMERIS, no entanto, tende a ser melhor se aplicado sobre os produtos CCMERIS\_FP (Gráficos 52 e 53). Também se obtêm melhores resultados se aplicado aos antigos produtos MERIS ESA (Gráfico 55). No que concerne à análise de concentração de TSM, o modelo que melhor ajusta os dados estimados aos dados reais medidos, é o designado por Nechad\_5\_709nm e que recorre às refletâncias de CCMERIS\_FP (Tabela 25). Contudo, aplicando este mesmo algoritmo aos *matchups* de 2005 a 2012 do modelo CCMERIS\_FP, o valor do coeficiente de determinação (que era de 0,30 para 15 *matchups*), baixa significativamente (para 0,08, considerando os 29 *matchups*).

Análises e resultados semelhantes aos encontrados neste trabalho, podem-se observar em “*Validation of CoastColour L2W products in the St. Lawrence estuary (Canada)*”, por Pierre Larouche, Mehmet Yahla, Norm O’Neill e Servet Cizmeli, onde os produtos CoastColour também não conseguem refletir as concentrações das variáveis de acordo com os dados recolhidos *in-situ*. Parte do trabalho exposto neste documento, e o trabalho de Larouche, foram apresentados e debatidos no encontro do Projeto CoastColour em Lisboa em Outubro de 2011. Neste encontro, já a comunidade científica, em particular Doerffer e outros, referiam que “*para zonas de concentrações elevadas de TSM é muito difícil a determinação de concentração de Chl-a por satélite*”, o que acontece com a nossa área de validação (Tabela 8).

Tendo em conta estes resultados, há (e haverá sempre) muita investigação pela frente, no sentido de busca de cada vez melhores modelos / algoritmos para apoiar a comunidade científica e económica, para uma melhor exploração do recurso fundamental que são os nossos oceanos e, em particular, as nossas zonas costeiras.



## 5. TRABALHO FUTURO

O Projeto CoastColour teve como maior objetivo o desenvolvimento de modelos regionais para determinação de concentrações de diversos parâmetros sobre as águas costeiras. Mas, para além da tentativa de maior aproveitamento da informação captada pelas imagens MERIS, houve o intuito de aprimorar modelos para aplicações futuras, como para o processamento da informação captada pelos futuros satélites Sentinel 3 (o primeiro com lançamento previsto para 2013). Por isso, é ainda muito importante o contínuo trabalho de validação dos novos produtos libertados pelo PCC (disponibilizados em setembro) pelo que no futuro dever-se-á apostar em diferentes testes estatísticos para validação, como teste chi-quadrado de Pearson para análise da amostra de *matchups*, testes para avaliação dos dados MERIS ESA *versus* CCMERIS, e deverá ser também pertinente a abordagem aos dados *in-situ* (marés) e aos produtos PCC através da regressão harmónica dinâmica (*Dynamic Harmonic Regression*, DHR), apropriada ao estudo de dados sazonais (como a Clorofila-a no Estuário do Tejo e também a maré), e cada vez mais abordada em análises estuarinas (como em “*Exploring the long-term and interannual variability of biogeochemical variables in coastal areas by means of a data assimilation approach*”, de Stefano Ciavatta e Roberto Pastres, ELSEVIER, Estuarine, Coastal and Shelf Science 91, 2011, 411-422).



## 6. REFERÊNCIAS

- [1] Ana Cláudia Teodoro, *Quantificação da Concentração de Sedimentos Suspensos Totais na Zona Costeira a partir de Imagens de Satélite*, Dissertação de Doutorado, maio de 2007.
- [2] [http://www.esa.int/SPECIALS/About\\_ESA/index.html](http://www.esa.int/SPECIALS/About_ESA/index.html) (consultada a 13 de fevereiro de 2012).
- [3] <https://earth.esa.int/web/guest/missions/esa-operational-eo-missions/ENVISAT>.
- [4] [http://www.esa.int/esaMI/Operations/SEMOZY8L6VE\\_1.html#subhead3](http://www.esa.int/esaMI/Operations/SEMOZY8L6VE_1.html#subhead3).
- [5] MERIS Product Handbook, ESA, Issue 2.1, 24th October 2006.
- [6] *ENVISAT-1 Products Specifications Volume 11: MERIS Products Specifications*, Ref:PO-RS-MDA-GS-2009, Is.: 6/A, 22/06/2011.
- [7] MERIS Level 3 Product Handbook, Doc.no: P0-RS-ACR-GS-2002; November 24, 2006.
- [8] K. Ruddick, Y. Park e B. Nechad, *Meris Imagery Of Belgian Coastal Waters: Mapping of Suspended Particulate Matter and Chlorophyll-a*, Proc. MERIS User Workshop, Frascati Italy, 10-13 November 2003 (ESA SP-549, May 2004).
- [9] IOCCG Report Number 5, *Remote Sensing of Inherent Optical Properties: Fundamentals, Tests of Algorithms, and Applications*, Series Editor: Venetia Stuart, 2006.
- [10] IOCCG Report Number 7, *Why Ocean Colour? The Societal Benefits of Ocean-Colour Technology*, Series Editor: Venetia Stuart, 2008.
- [11] H.J. van der Woerd, M.A. Eleveld e S.W.M. Peters, *User requirements for REVAMP chlorophyll products: Phase 1 – Initial requirements inventory*, Relatório REVAMP Deliverable 31.1 versão 0.2, 30 de agosto de 2002.
- [12] Neves, F., et al, *The Effects of Forcing Mechanisms on the Thermohaline and Circulation Patterns of the Tagus Estuary During August 2007 and January 2008*, ICS2009 – 10th International Coastal Symposium, Lisboa, abril de 2009.
- [13] Publicações Coastcolour, *DUE CoastColour Technical Note CoastColour in-situ database*, versão 1.4, 30 de agosto de 2011.
- [14] <http://www.coastalwiki.org/coastalwiki/>, artigo em revisão (19 de julho de 2012), *Ships of opportunity and ferries as instrument carriers*.

- [15] L. Prieto et al, *Oceanographic and meteorological forcing of the pelagic ecosystem on the Gulf of Cadiz shelf (SW Iberian Peninsula)*, Continental Shelf Research 29, ELSEVIER 2009, pág. 2122–2137.
- [16] C. Gameiro, P. Cartaxana e V. Brotas, *Environmental drivers of phytoplankton distribution and composition in Tagus Estuary, Portugal*, Estuarine, Coastal and Shelf Science 75, 21-34, 2007.
- [17] Carla Gameiro e Vanda Brotas, *Patterns of Phytoplankton Variability in the Tagus Estuary (Portugal)*, jornal da “Coastal and Estuarine Research Federation”, vol. 33, n.2, pág.311-323, Springer 2010.
- [18] P. Bicheron, et al, *Geolocation Assessment of MERIS GlobCover Orthorectified Products*, IEEE TRANSACTIONS ON GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING, DOI: 10.1109/TGRS.2011.2122337, VOL.49, N.8, pág. 2972-2982, agosto 2011.
- [19] DUE CoastColour, *Product User Guide Deliverable DEL-21*, versão 2.1, 3 de junho de 2011.
- [20] A. Morel e D. Antoine, *ATBD 2.9 – Pigment Index Retrieval In Case 1 Waters*, Laboratoire d'Océanographie de Villefranche, MERIS ESL Doc.: PO-TN-MEL-GS-0005, 22 de julho de 2011.
- [21] R. Doerffer e H. Schiller, *Algorithm Theoretical Basis Document, ATBD 2.12: Pigment index, sediment and gelbstoff retrieval from directional water leaving radiance reflectances using inverse modelling technique*, GKSS Research Centre, Doc. N. PO-TN-MEL-GS-0005, Issue: 4, 5 de dezembro de 1997.
- [22] R. Doerffer, *MERIS case 2 Water Retrieval Algorithms*, Primeira sessão de trabalho com Users do CoastColour, 19-20 de março de 2009.
- [23] O'Reilly et al, *Ocean Color Chlorophyll a Algorithms for SeaWiFS, Oc2, and Oc4: Version 4, Chapter 2*, NOAA, NASA Technical Memorandum 2000-206892, Volume 11, 2000.
- [24] R. Doerffer e H. Schiller, *The MERIS Case 2 water algorithm*, International Journal of Remote Sensing, Volume 28, Issue 3-4, 2007, páginas 517-535.
- [25] W. J. Moses, A. A. Gitelson, S. Berdnikov, e V. Povazhnyy, *Satellite Estimation of Chlorophyll-a Concentration Using the Red and NIR Bands of MERIS—The Azov Sea Case Study*, IEEE GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING LETTERS, VOL. 6, N.4, outubro 2009.
- [26] Alexander Gilerson, Anatoly Gitelson, et al, *Algorithms for remote estimation of chlorophyll-a in coastal and inland waters using red and near infrared bands*, Optics Express (2010) 18(23): 24,109-24,125. Copyright 2010, Optical Society of America.

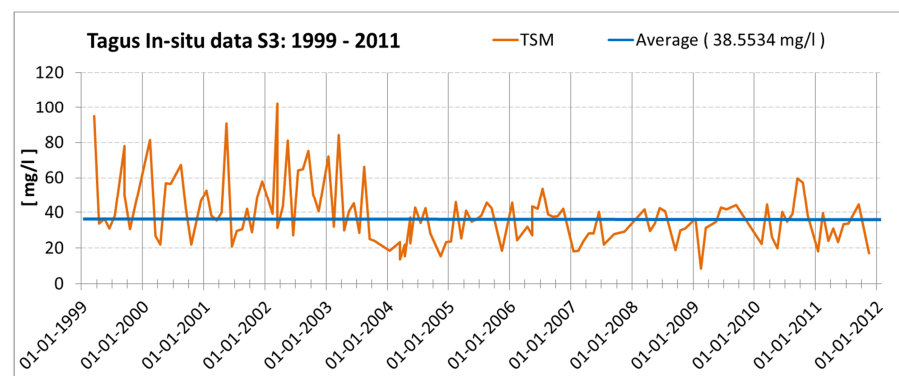
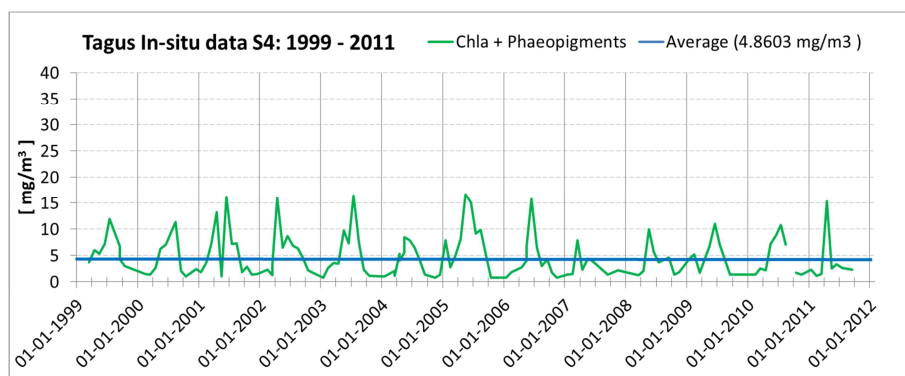
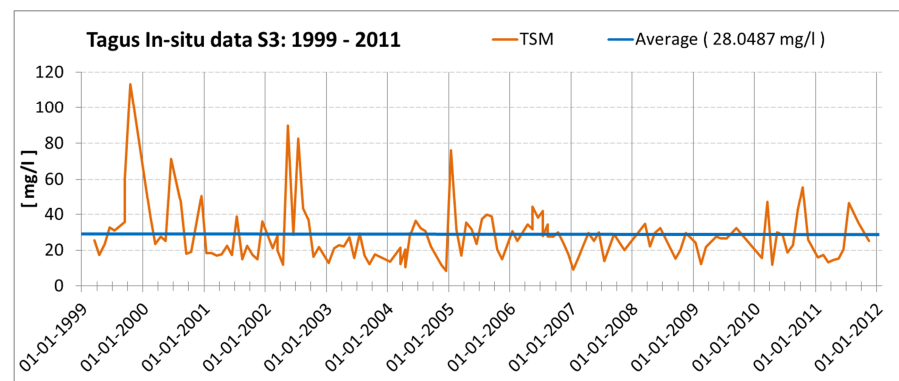
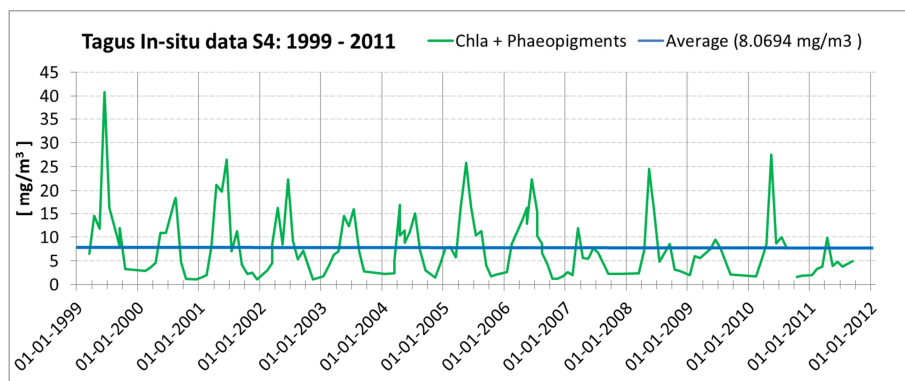
- [27] Herman J. Gons, Martin T. Auer, Steven W. Effler, *MERIS satellite chlorophyll mapping of oligotrophic and eutrophic waters in the Laurentian Great Lakes*, Elsevier, Remote Sensing of Environment 112 (2008) 4098–4106.
- [28] Xiao-Gang Xing<sup>12</sup>, *An Overview of Remote Sensing of Chlorophyll Fluorescence*, Ocean Science Journal, 2007, Vol. 42 No. 1, 49-59.
- [29] Gower, J., R. Doerffer and G.A. Borstad. *Interpretation of the 685 nm peak in water-leaving radiance spectra in terms of fluorescence, absorption and scattering, and its observation by MERIS*. International Journal of Remote Sensing. 1999, vol.20, n.9, 1771-1786.
- [30] Are Folkestad, Lasse H. Pettersson e Jo Høkedal (NIVA), *Quality assessment of MERIS chlorophyll Fluorescence Line Height (FLH) product for the Skagerrak region*, relatório NERSC Technical Report no. 273, junho de 2006.
- [31] B. Nechad, K.G. Ruddick e Y. Park, *Calibration and validation of a generic multisensor algorithm for mapping of total suspended matter in turbid waters*, Remote Sensing of Environment 114 (2010) 854-866.
- [32] R. Katlane, B. Nechad, K. Ruddick e F. Zargouni, *Optical remote sensing of turbidity and total suspended matter in the Gulf of Gabes*, Arabian Journal of Geosciences, DOI 10.1007/s12517-011-0438-9, outubro de 2011.
- [33] Robinson, Ian S., *Measuring the Oceans from Space The principles and methods of satellite oceanography*, Springer, 2004.
- [34] Seelye Martin, *An Introduction to Ocean Remote Sensing*, Cambridge, 2004.
- [35] André S. Valente, José da Silva, *On the observability of the fortnightly cycle of the Tagus estuary turbid plume using MODIS ocean colour images*, Journal of Marine Systems 75 (2009) 131–137.

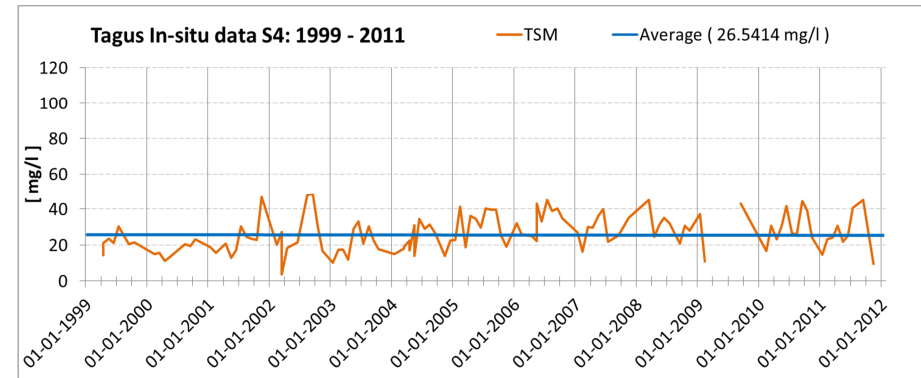
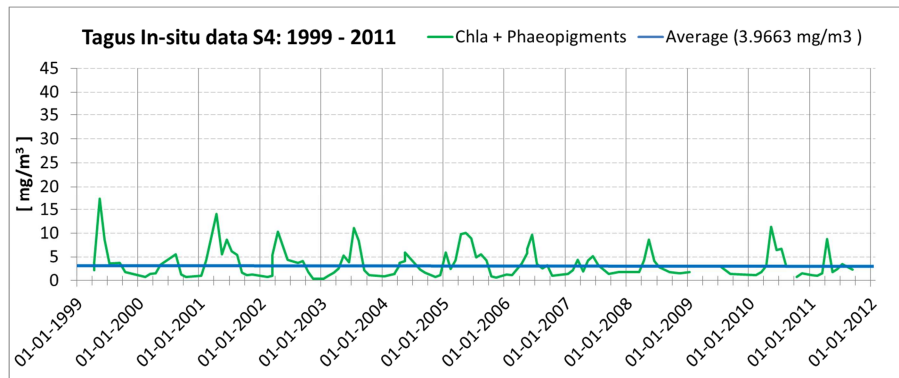
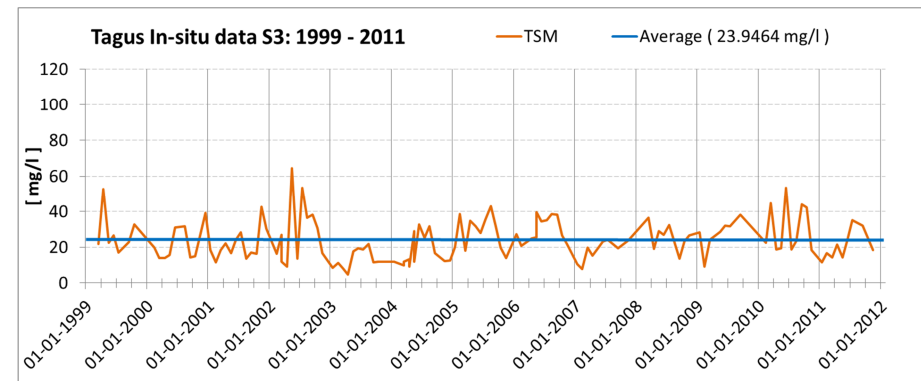
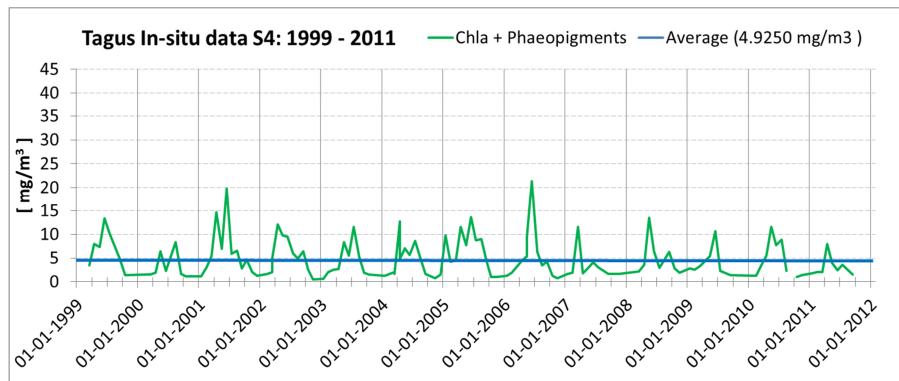




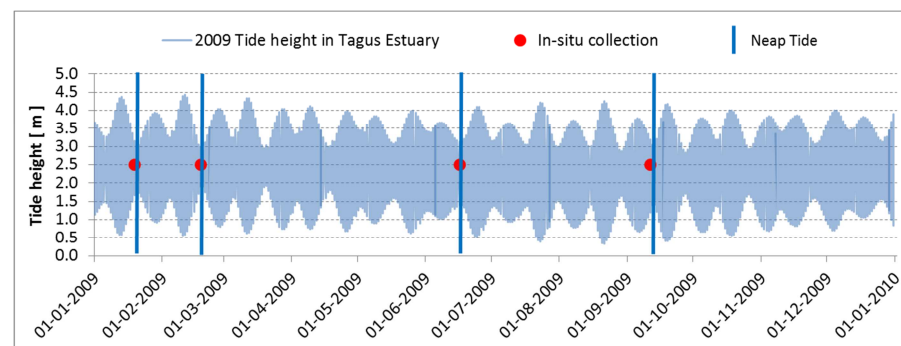
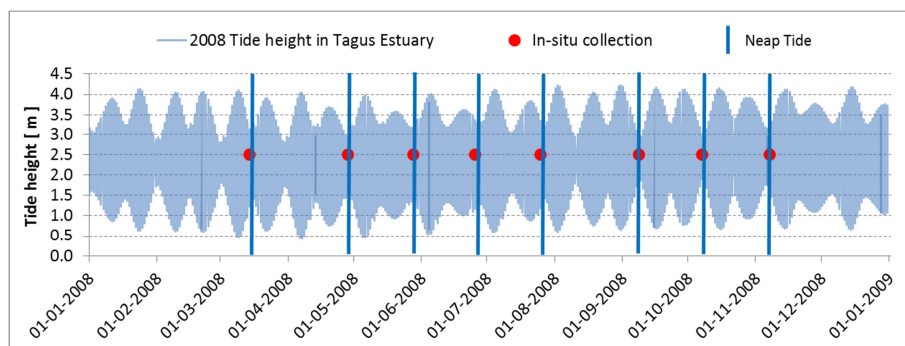
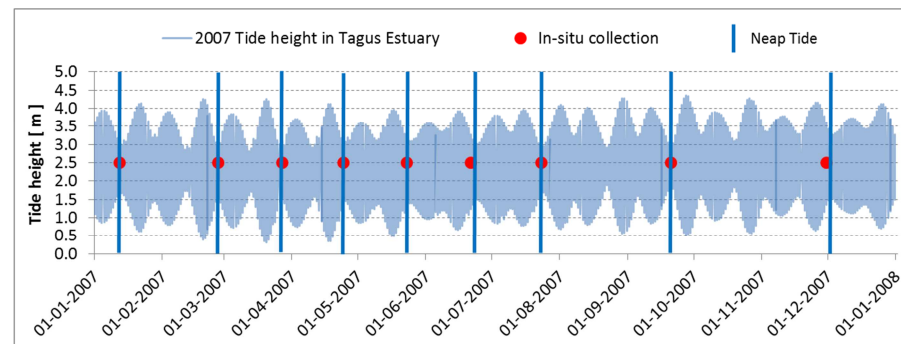
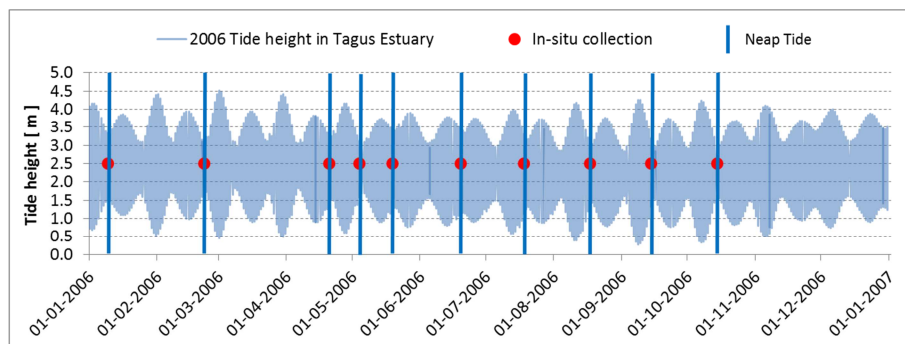
## ANEXOS

### Anexo A.1 Dados *in-situ* de Chla+Feopigmentos e TSM, recolhidos na estação 1 do projeto Valor Sul, entre 1999 e 2012.

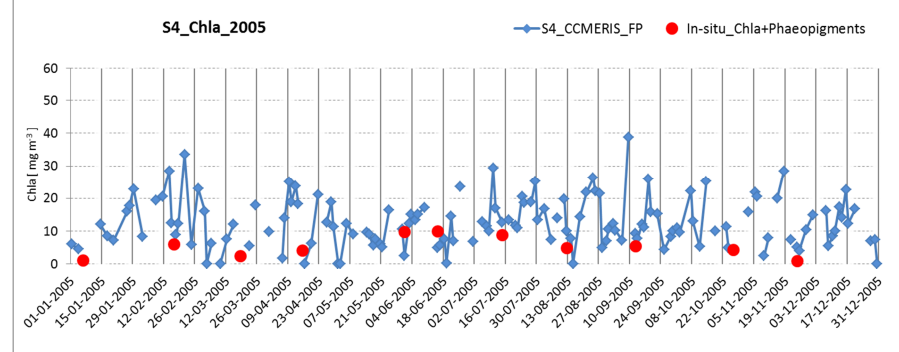
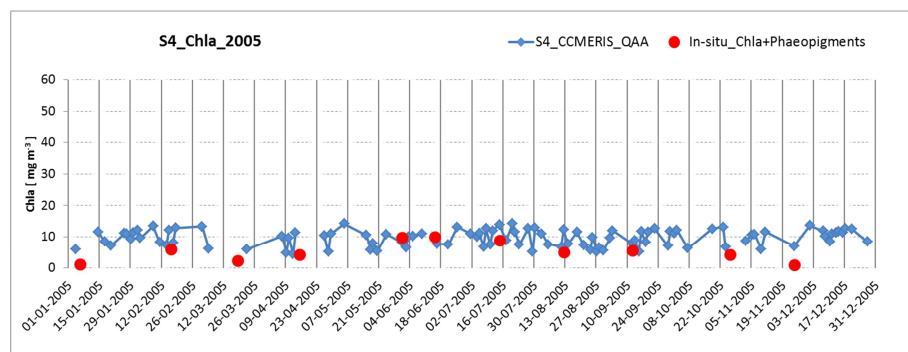
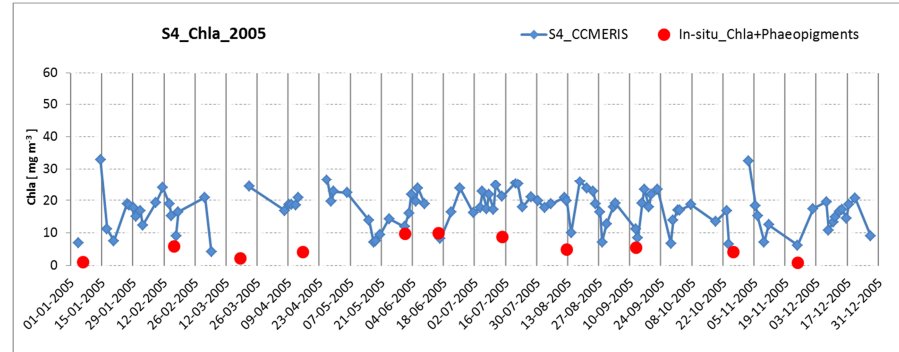
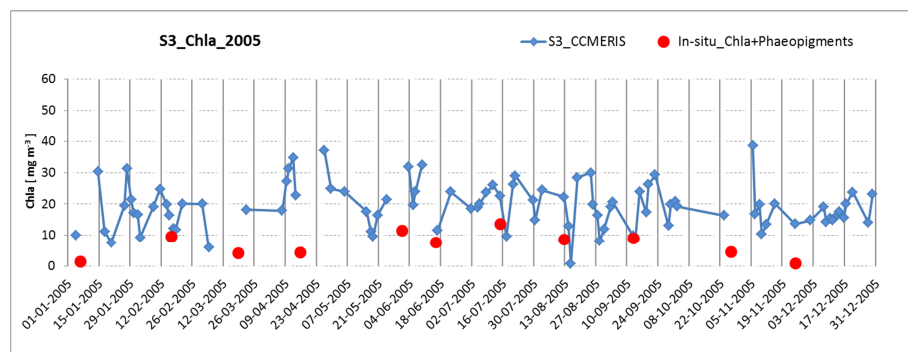
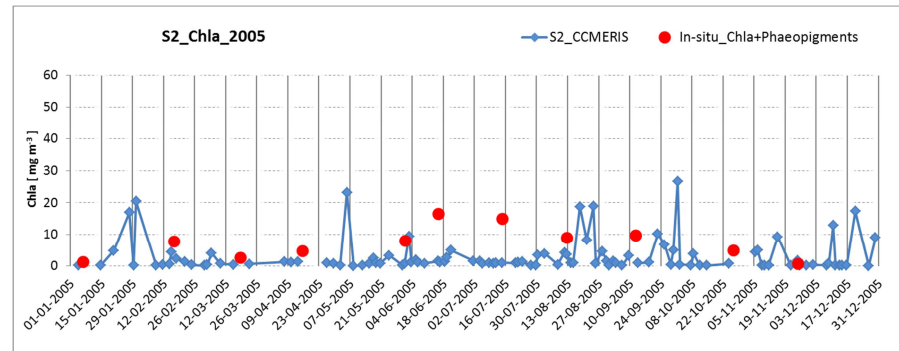
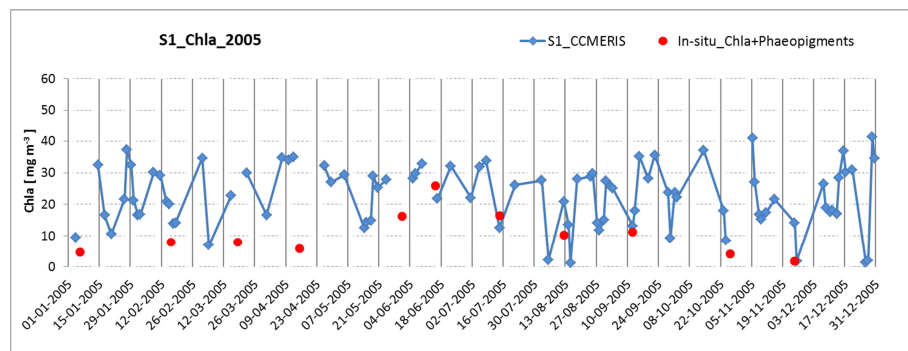




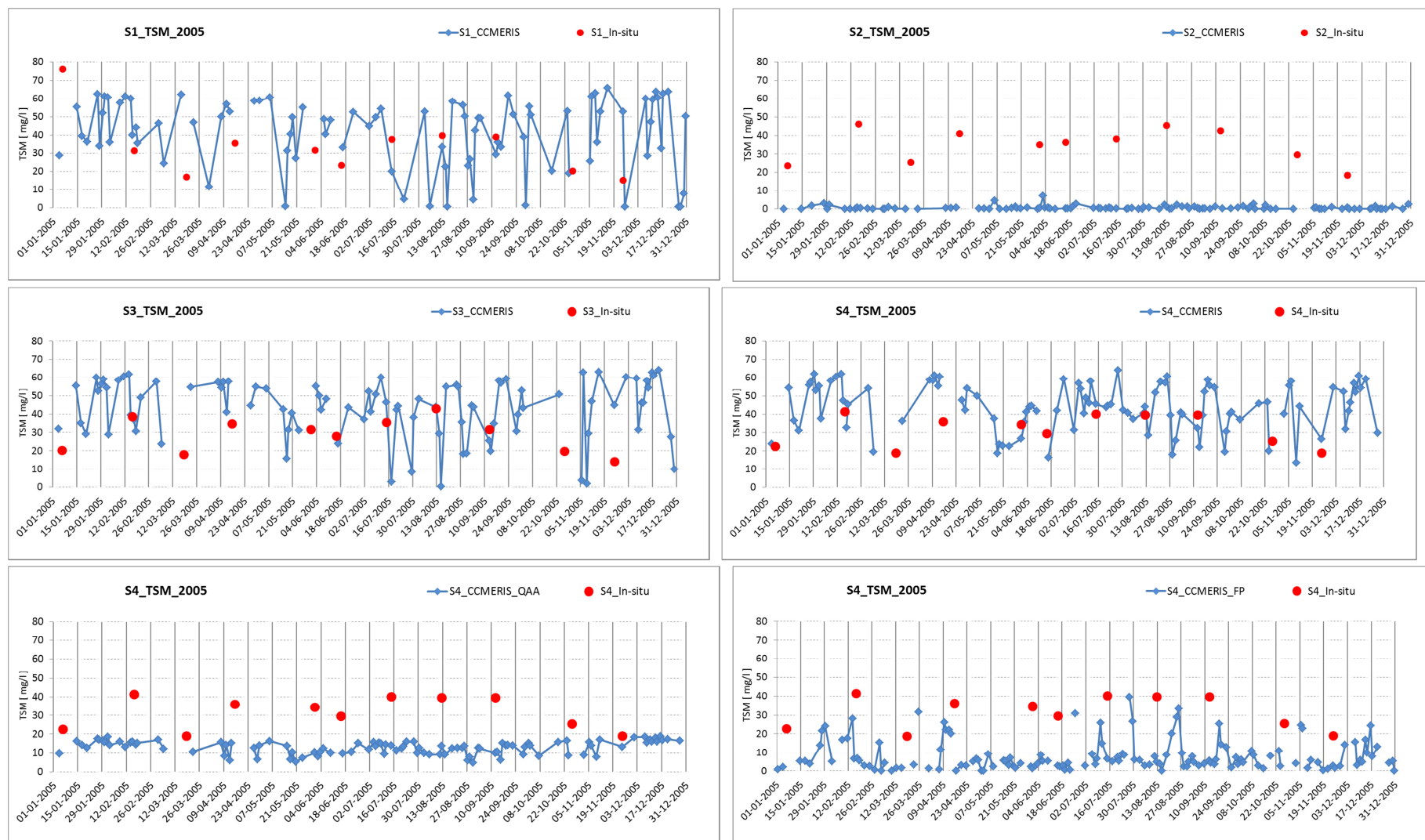
## Anexo A.2 Altura da maré nos anos de 2006 e 2007 e respetivos momentos de recolha dos dados *in-situ* do projeto Valor Sul.



### Anexo B.1. Dados *in-situ* de Chl-a + Feopigmentos na estação S4 do Estuário do Tejo e variação MERIS anual da concentração de Chl-a, determinada pelos três modelos do PCC (2005)

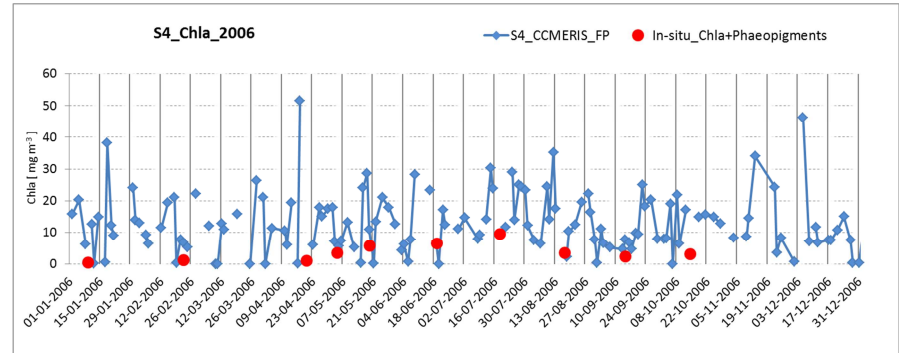
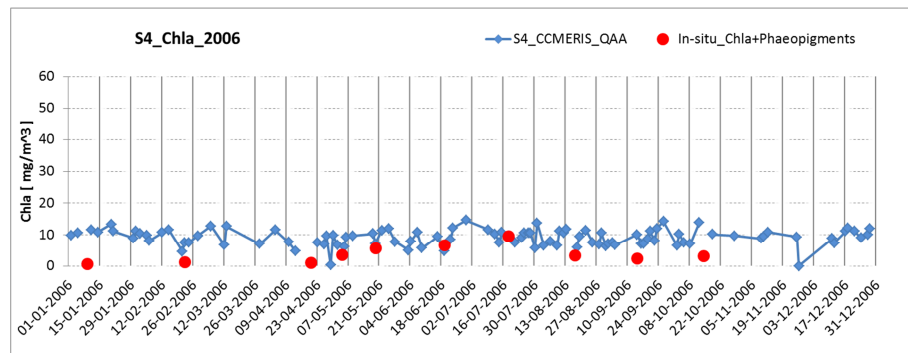
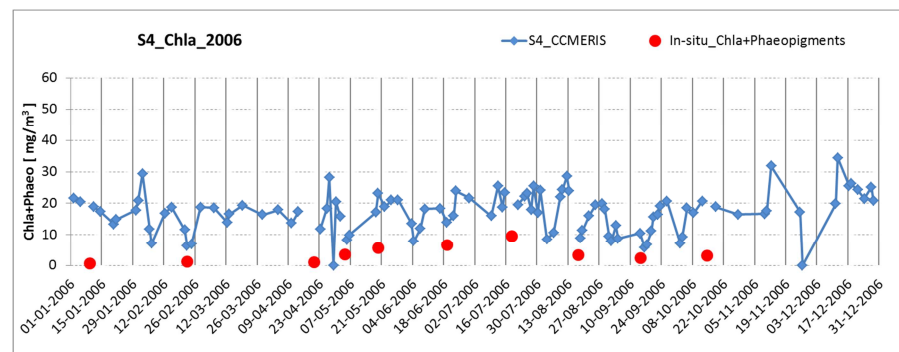
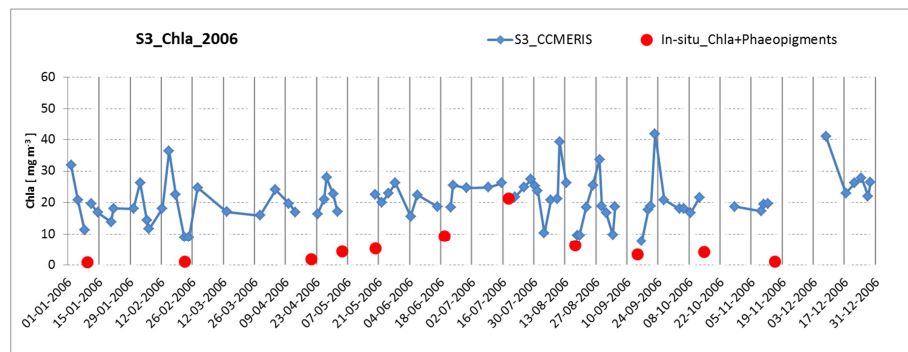
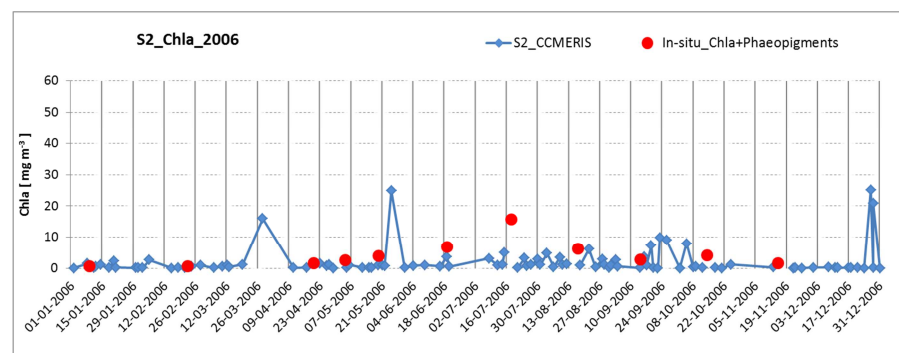
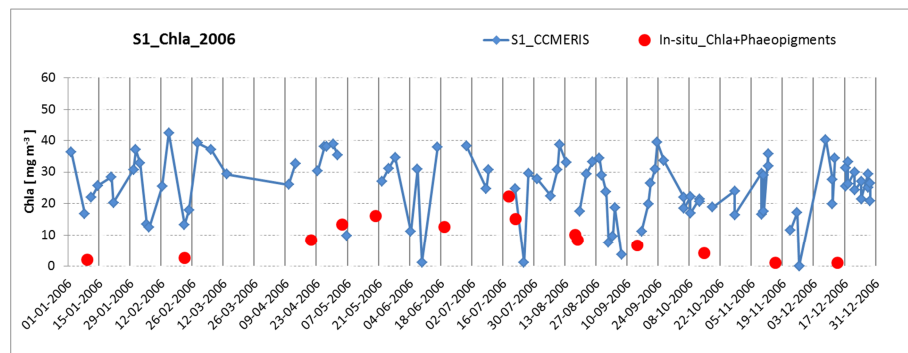


## Anexo B.2. Dados *in-situ* de TSM na estação S4 do Estuário do Tejo e variação MERIS anual da concentração de Chl-a, determinada pelos três modelos do PCC (2005)

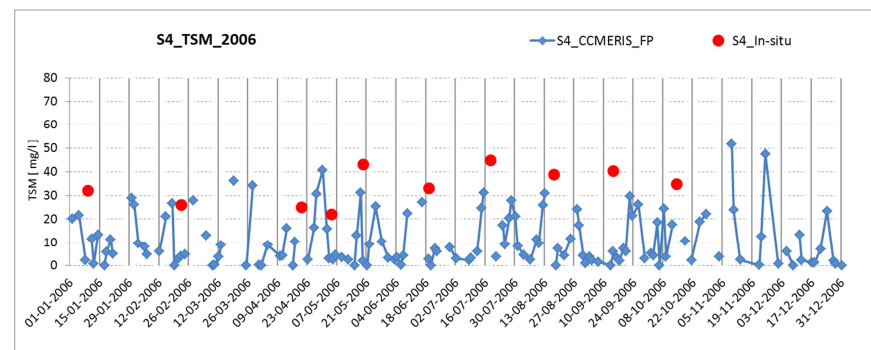
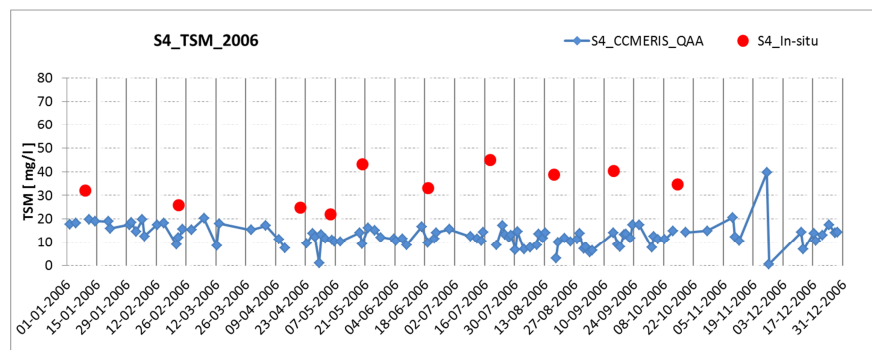
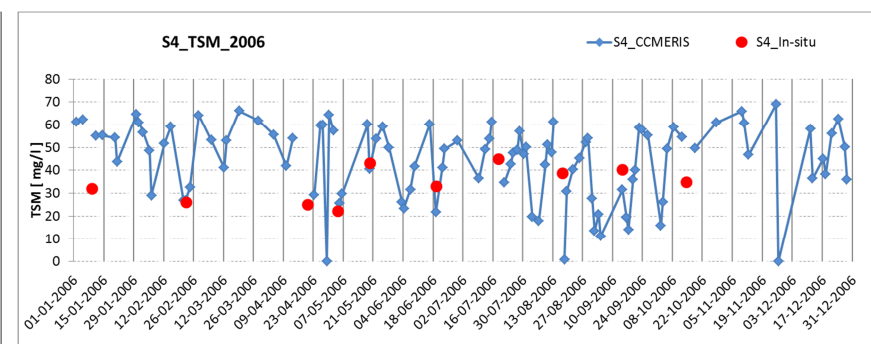
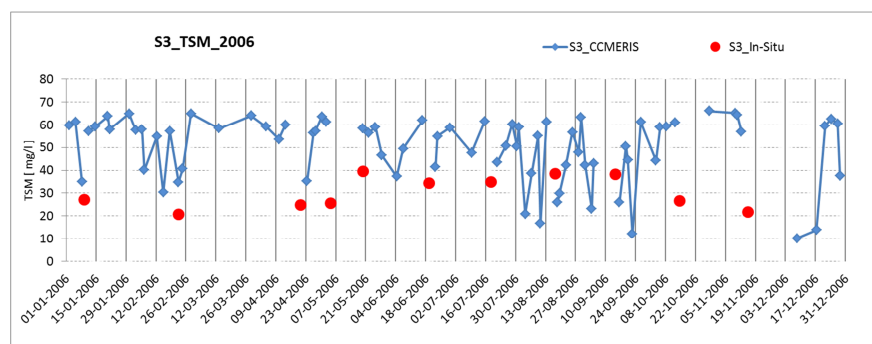
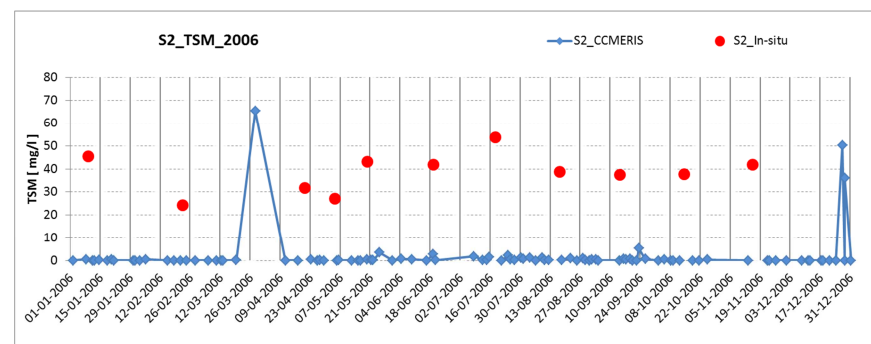
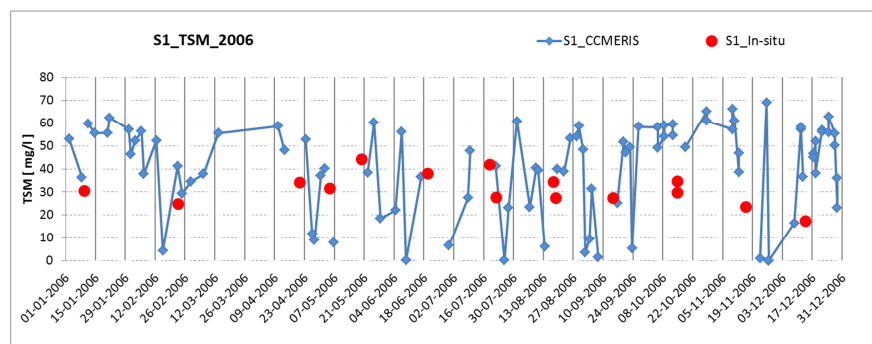




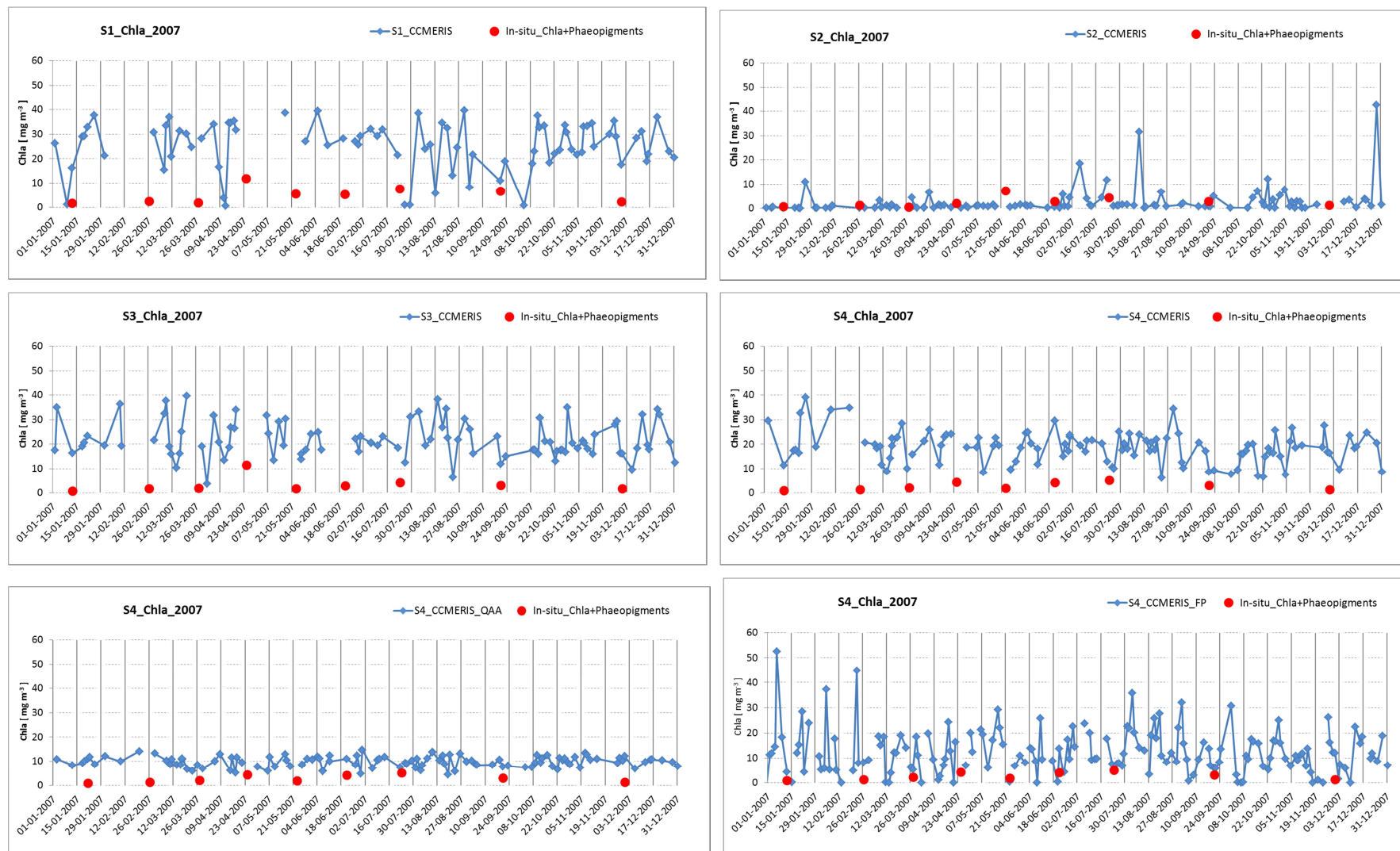
### Anexo B.3. Dados *in-situ* de Chl-a + Feopigmentos na estação S4 do Estuário do Tejo e variação MERIS anual da concentração de Chl-a, determinada pelos três modelos do PCC (2006)



#### Anexo B.4. Dados *in-situ* de TSM na estação S4 do Estuário do Tejo e variação MERIS anual da concentração de Chl-a, determinada pelos três modelos do PCC (2006)

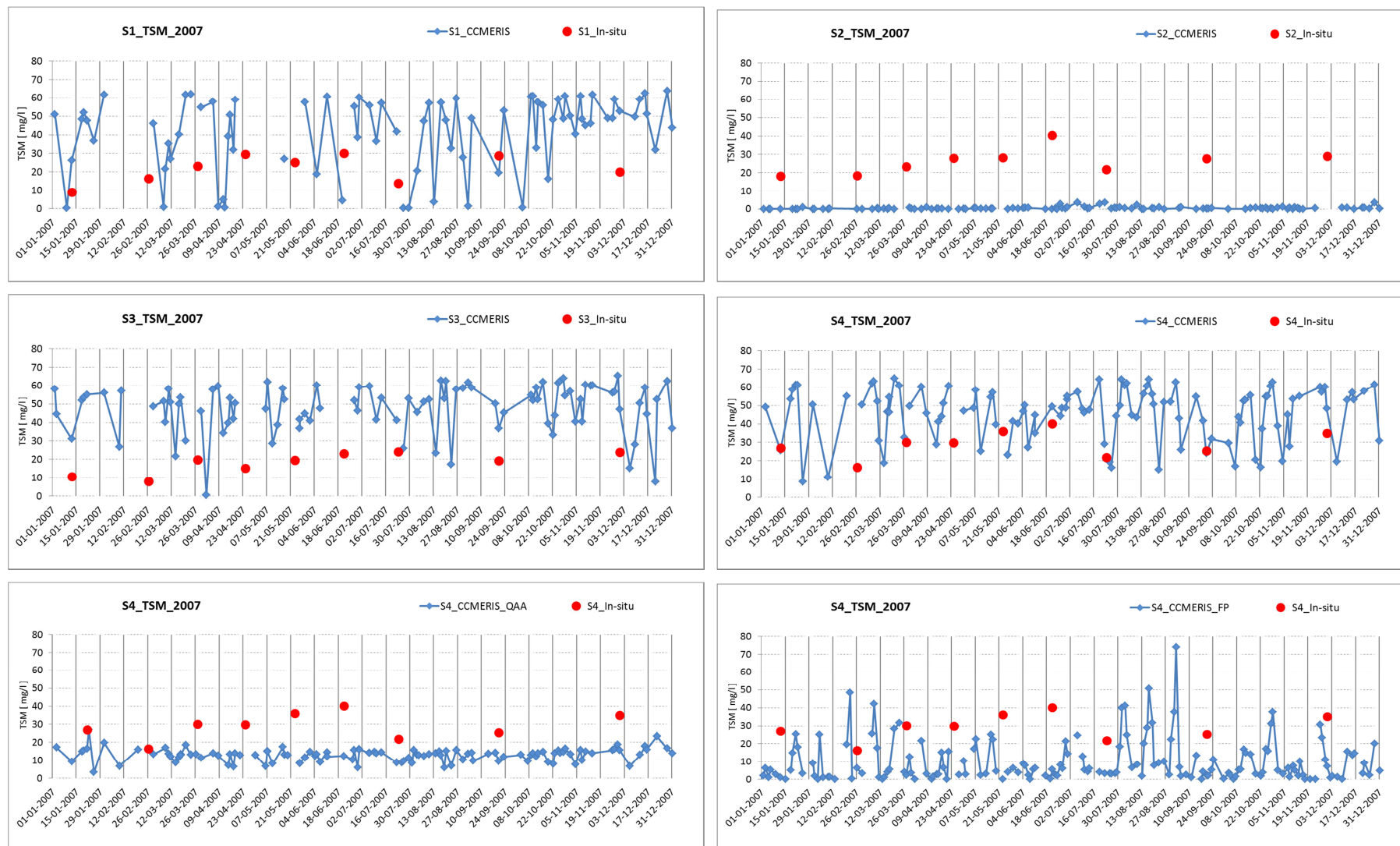


### Anexo B.5. Dados *in-situ* de Chl-a + Feopigmentos nas estações do Estuário do Tejo e variação MERIS anual da concentração de Chl-a, determinada pelos três modelos do PCC (2007)

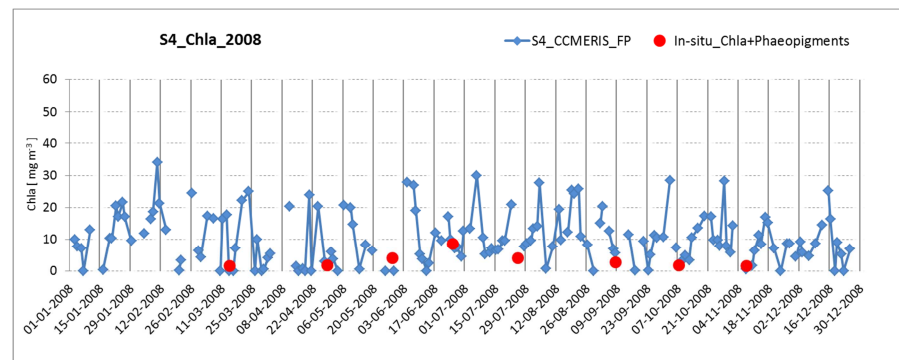
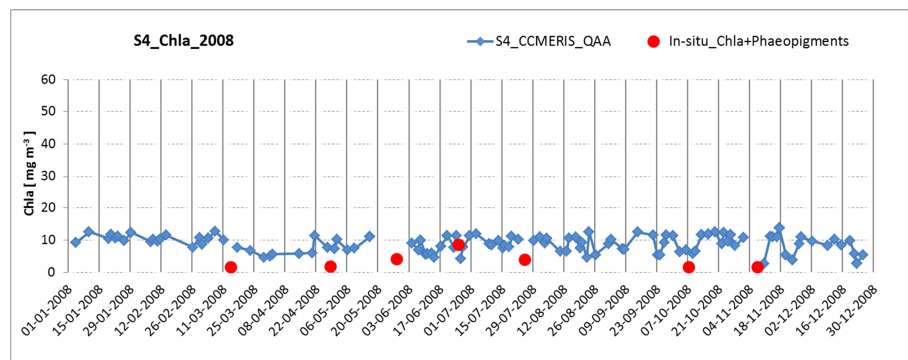
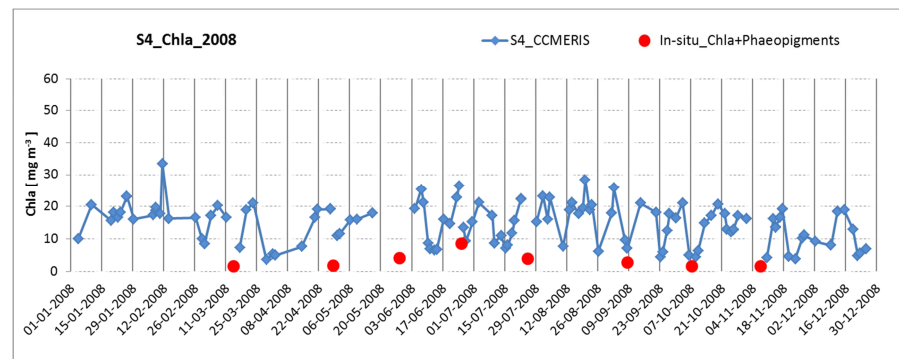
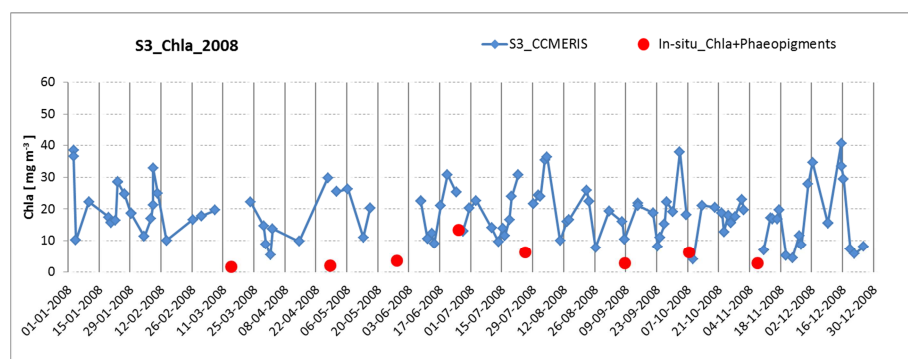
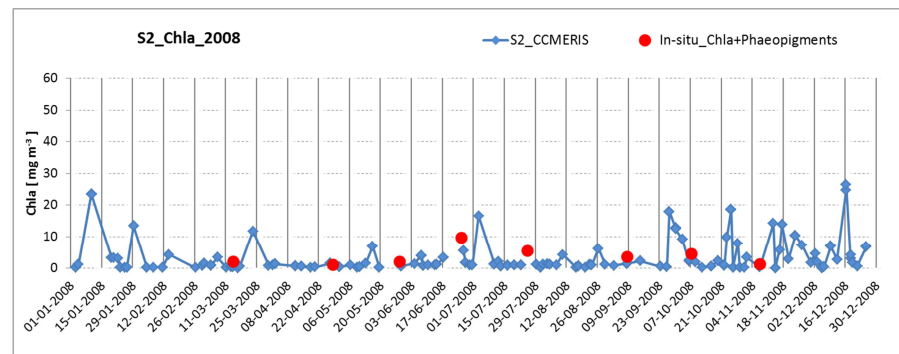
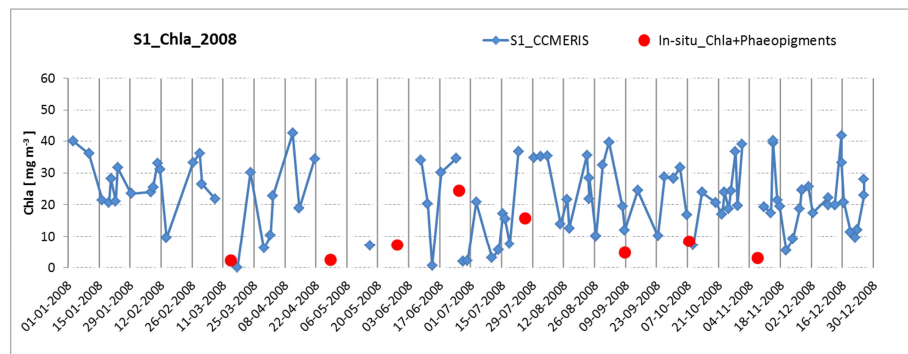




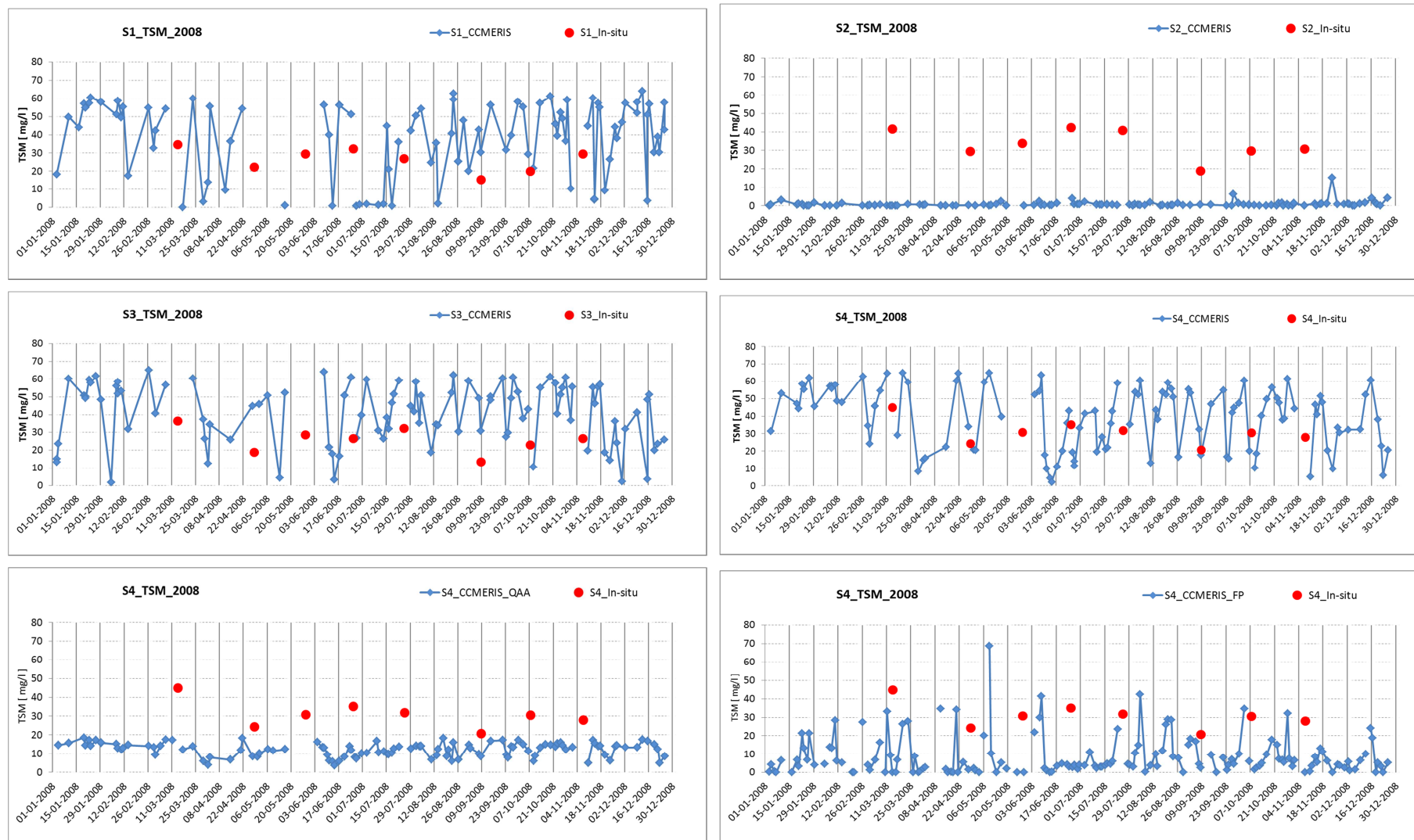
**Anexo B.6.** Dados *in-situ* de Chl-a + Feopigmentos na estação S4 do Estuário do Tejo e variação MERIS anual da concentração de Chl-a, determinada pelos três modelos do PCC (2010 a 2012)



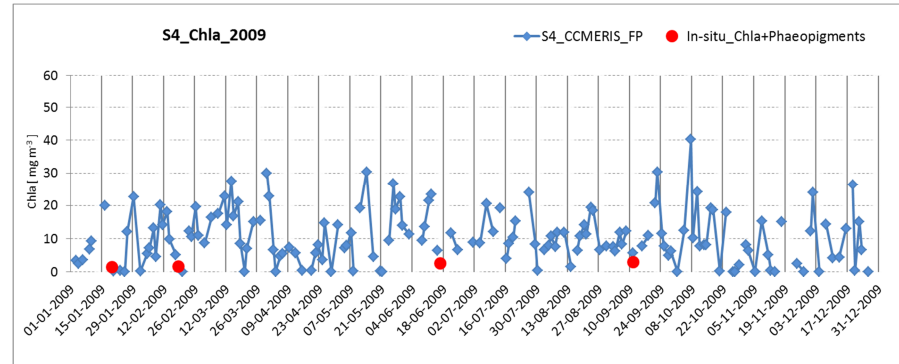
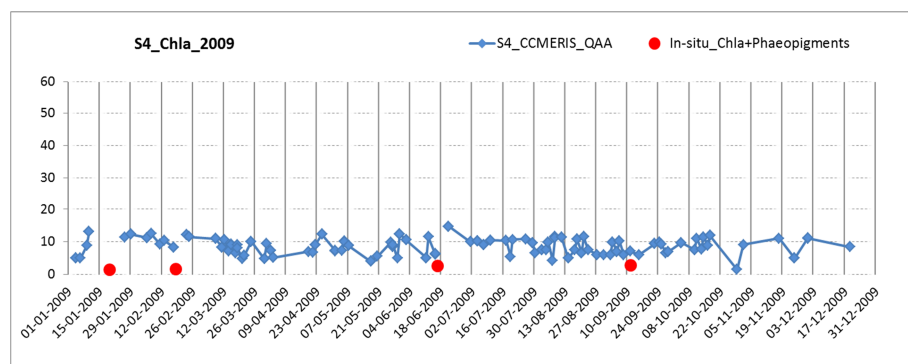
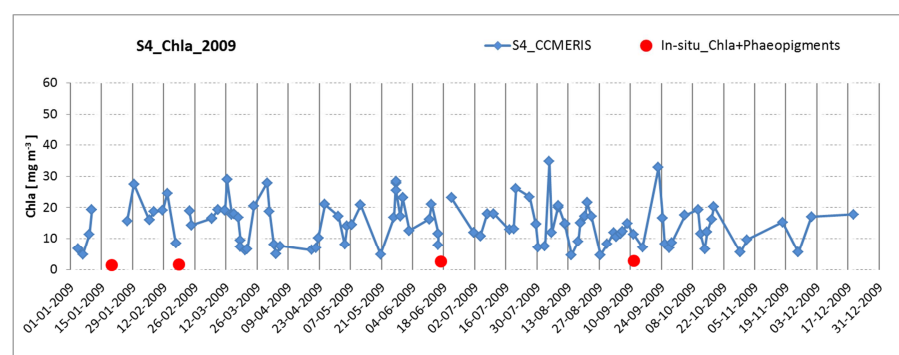
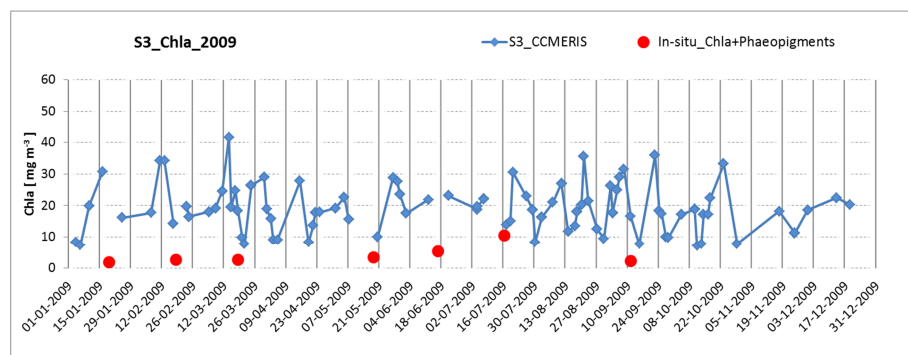
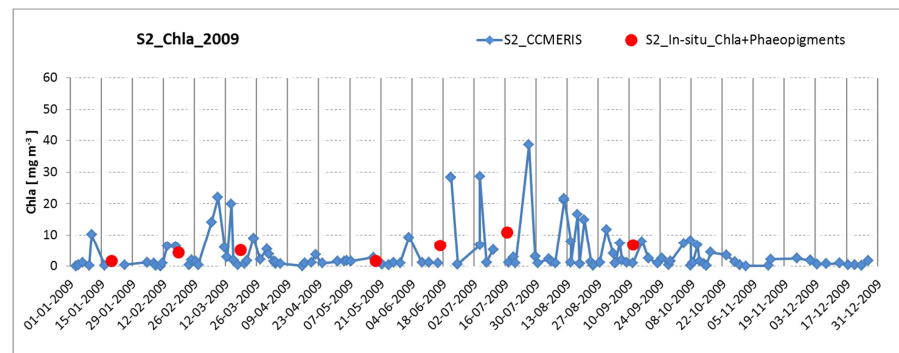
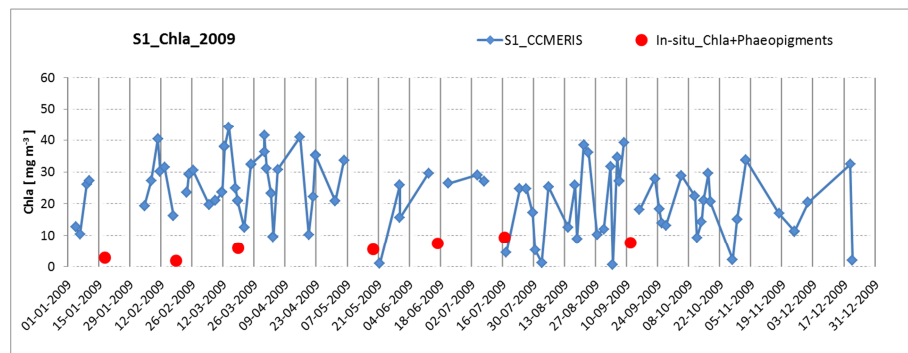
### Anexo B.7. Dados *in-situ* de Chl-a + Feopigmentos na estação S4 do Estuário do Tejo e variação MERIS anual da concentração de Chl-a, determinada pelos três modelos do PCC (2010 a 2012)



**Anexo B.8.** Dados *in-situ* de Chl-a + Feopigmentos na estação S4 do Estuário do Tejo e variação MERIS anual da concentração de Chl-a, determinada pelos três modelos do PCC (2010 a 2012)

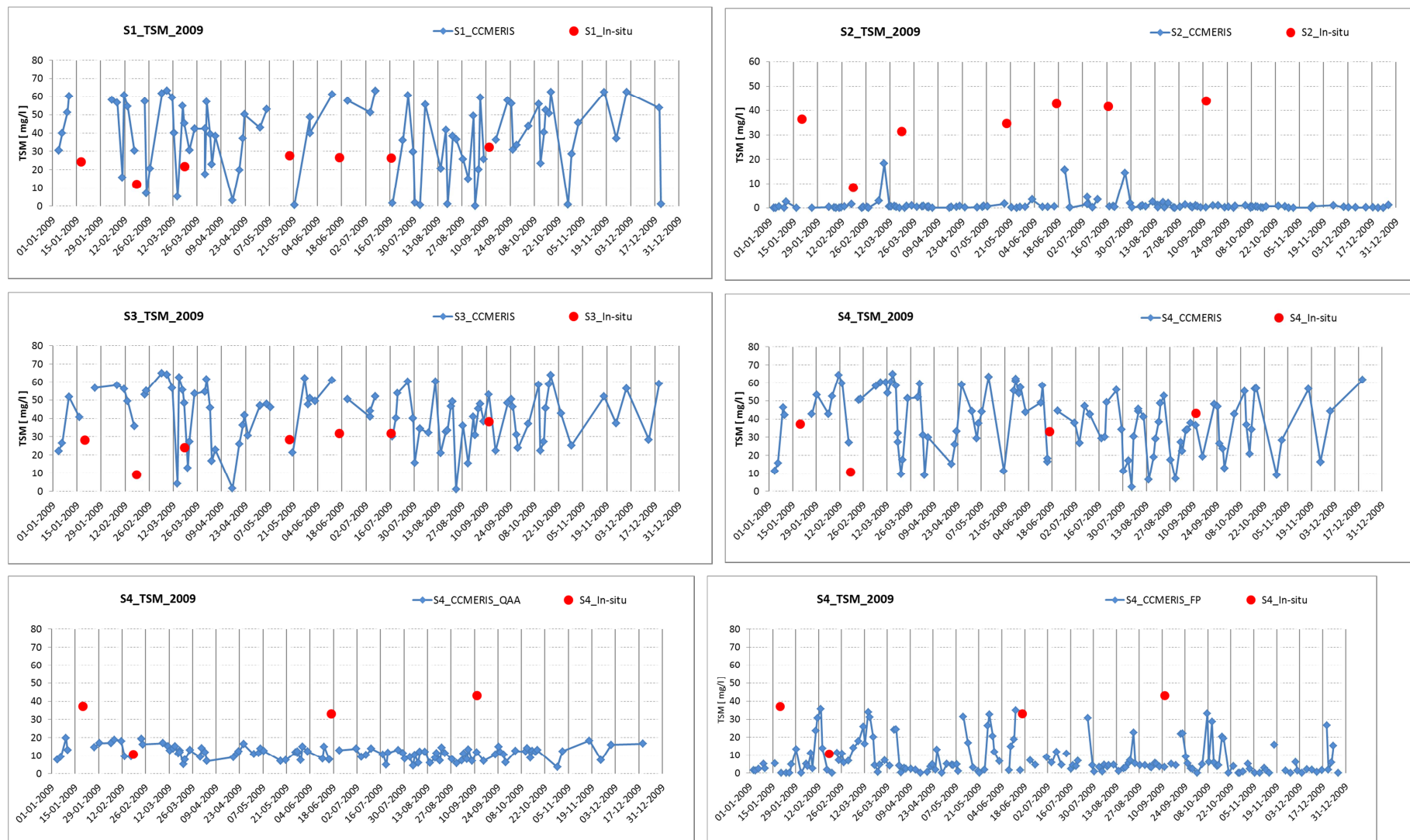


### Anexo B.9. Dados *in-situ* de Chl-a + Feopigmentos na estação S4 do Estuário do Tejo e variação MERIS anual da concentração de Chl-a, determinada pelos três modelos do PCC (2010 a 2012)

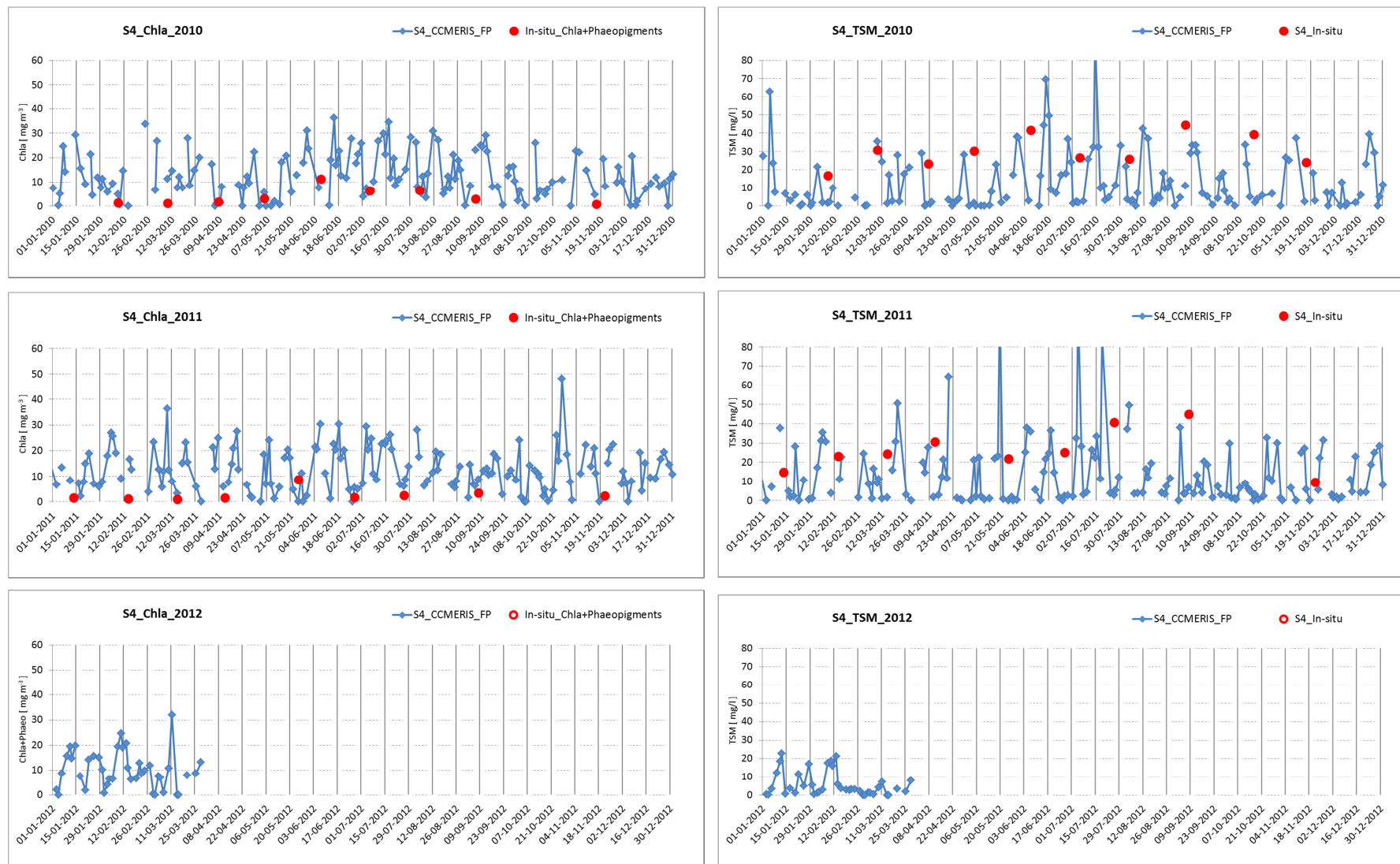




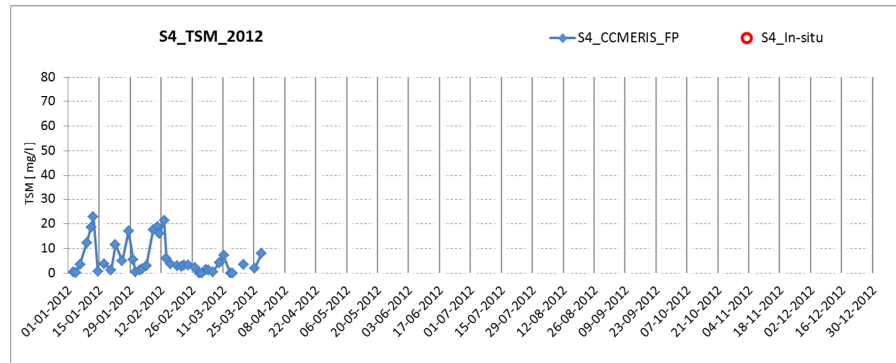
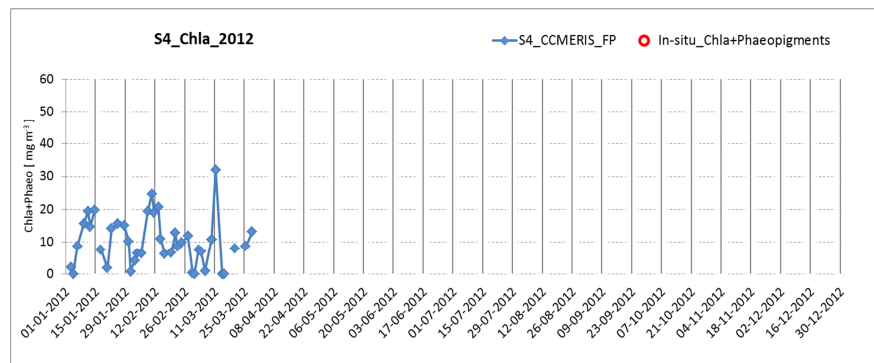
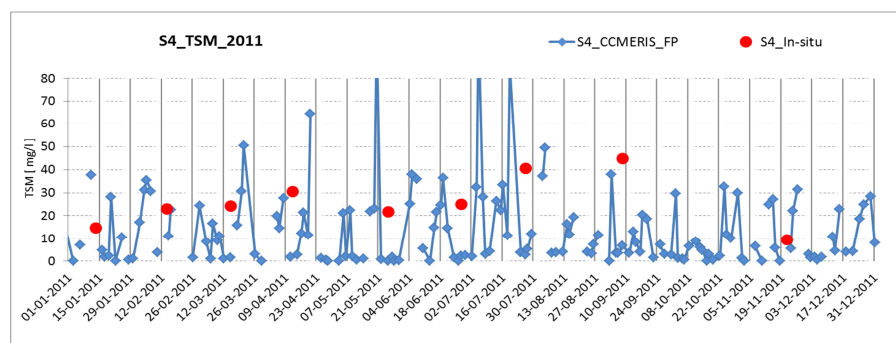
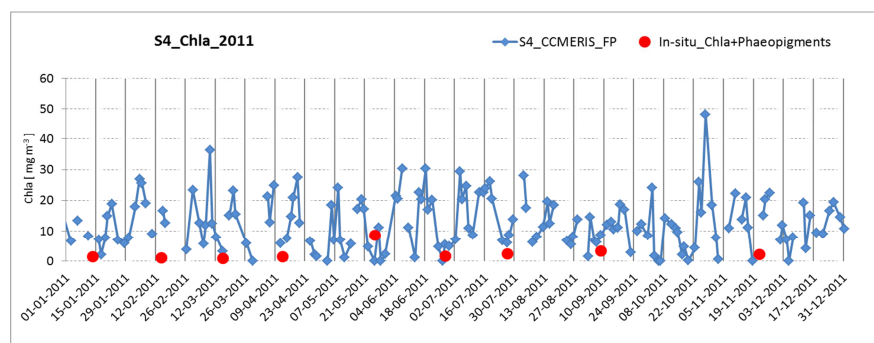
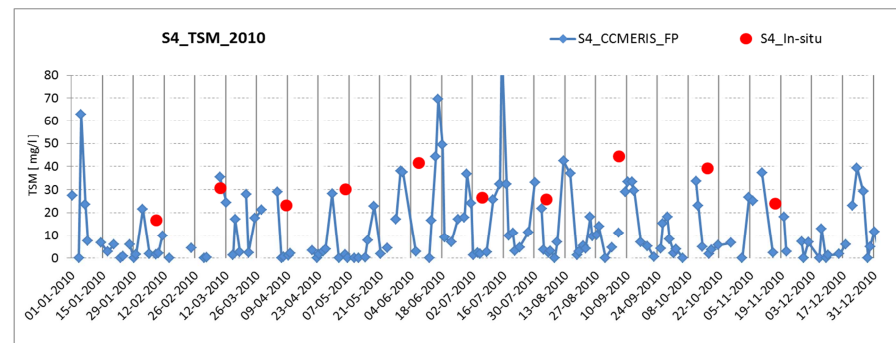
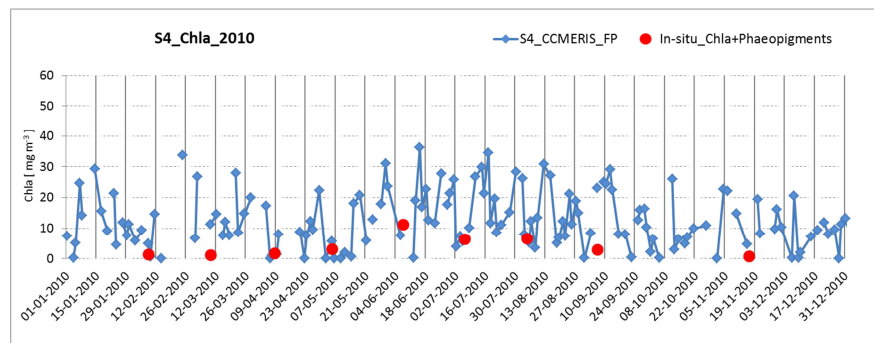
**Anexo B.10.** Dados *in-situ* de Chl-a + Feopigmentos na estação S4 do Estuário do Tejo e variação MERIS anual da concentração de Chl-a, determinada pelos três modelos do PCC (2010 a 2012)



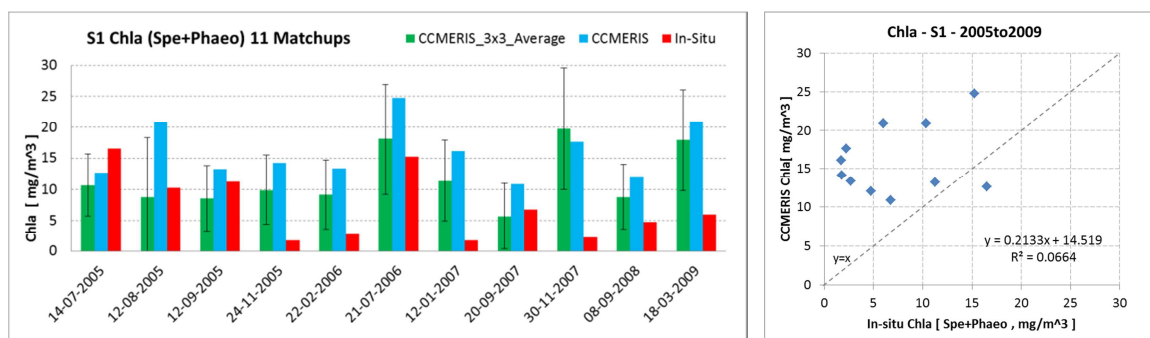
**Anexo B.11.** Dados *in-situ* de Chl-a + Feopigmentos na estação S4 do Estuário do Tejo e variação MERIS anual da concentração de Chl-a, determinada pelos três modelos do PCC (2010 a 2012)



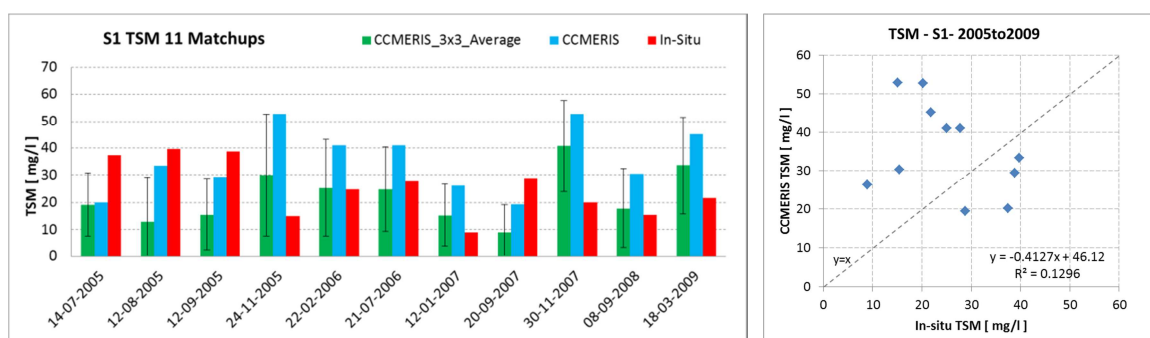
**Anexo B.12.** Dados *in-situ* de Chl-a + Feopigmentos na estação S4 do Estuário do Tejo e variação MERIS anual da concentração de Chl-a, determinada pelos três modelos do PCC (2010 a 2012)



### Anexo B.13. Valores *in-situ* e de satélite dos *matchups* na estação 1 (2005 a 2009) e sua correlação (processamento CCMERIS).



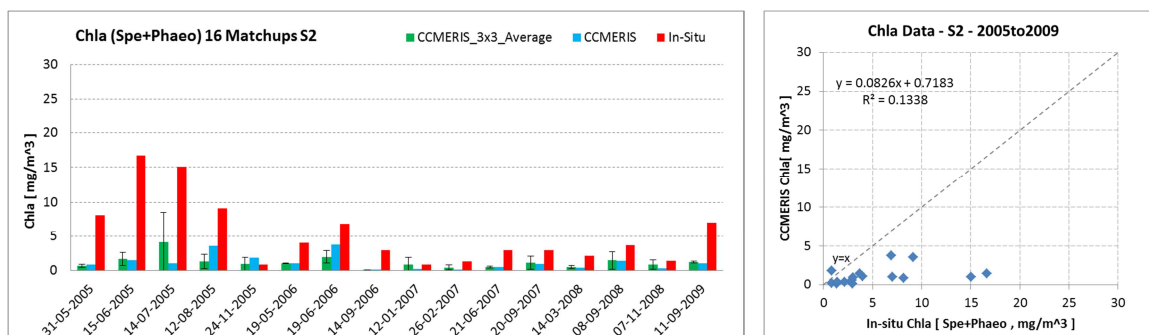
Matchups S1 (11)	CCMERIS (3by3 window)						In-situ Chla+Phaeop
Date	Conc_Chla	Max_Chla	Min_Chla	Average_Chla	Median_Chla	Stdev_Chla	
14-07-2005	12.63116	15.05842	0.77892	10.65544	13.22240	4.98494	16.49931
12-08-2005	20.88567	21.26522	0.30190	8.76975	2.42145	9.53844	10.31608
12-09-2005	13.18680	13.73364	0.82462	8.56582	11.31874	5.23164	11.27720
24-11-2005	14.16658	14.33435	0.39027	9.90939	12.81823	5.53284	1.76847
22-02-2006	13.32942	14.11791	0.14566	9.13178	12.59330	5.57592	2.69115
21-07-2006	24.73051	24.73051	1.18240	18.09841	23.20123	8.83291	15.25000
12-01-2007	16.13411	17.56603	0.23482	11.39036	14.75817	6.45996	1.69750
20-09-2007	10.91411	12.30941	0.78324	5.68309	1.38743	5.32988	6.72788
30-11-2007	17.65311	35.59346	0.12808	19.76870	17.65311	9.74010	2.24263
08-09-2008	12.03971	15.78692	0.48826	8.74665	11.03174	5.15829	4.77359
18-03-2009	20.93476	27.66271	1.32981	17.93253	20.99694	8.08929	5.99101



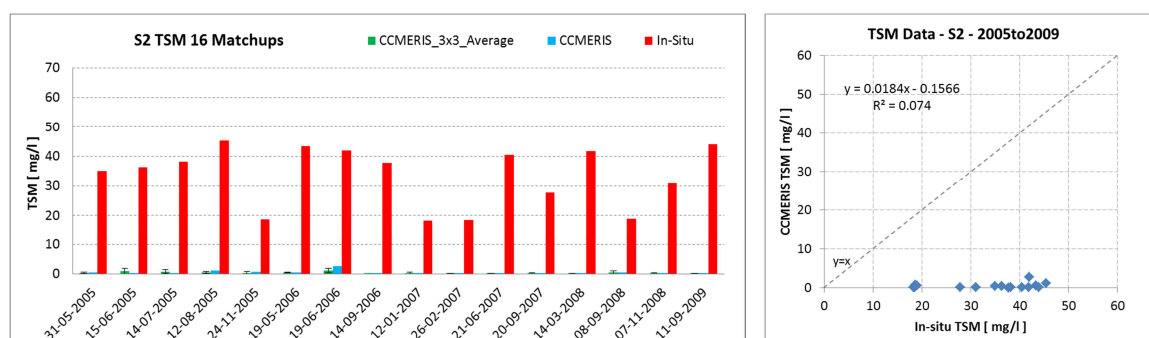
Matchups S1 (11)	CCMERIS (3by3 window)						In-situ TSM
Date	Conc_TSM	Max_TSM	Min_TSM	Average_TSM	Median_TSM	Stdev_TSM	
14-07-2005	20.16375	30.10440	0.17496	19.08398	26.75107	11.69833	37.46667
12-08-2005	33.43710	34.45882	0.06043	12.92111	0.75112	16.16175	39.73333
12-09-2005	29.41688	29.41688	0.15595	15.51595	25.08797	13.15826	38.80000
24-11-2005	52.82411	52.84193	0.05339	29.99657	28.61357	22.63983	15.06667
22-02-2006	41.08109	42.82525	0.03767	25.34721	32.25959	17.97608	25.03330
21-07-2006	41.11919	41.11919	0.14370	24.97111	32.61382	15.55782	27.81670
12-01-2007	26.22933	26.89828	0.04265	15.25213	22.68429	11.55083	8.97000
20-09-2007	19.50224	21.37975	0.10893	9.16498	0.28094	10.10292	28.79867
30-11-2007	52.76465	54.42105	0.03673	40.83864	46.45556	16.76773	20.19867
08-09-2008	30.40388	35.06917	0.06695	17.83557	26.83347	14.66404	15.40000
18-03-2009	45.20952	47.00406	0.24732	33.64427	39.43517	17.86563	21.80000



# **Anexo B.14. Valores *in-situ* e de satélite dos *matchups* na estação 2 (2005 a 2009) e sua correlação (processamento CCMERIS).**

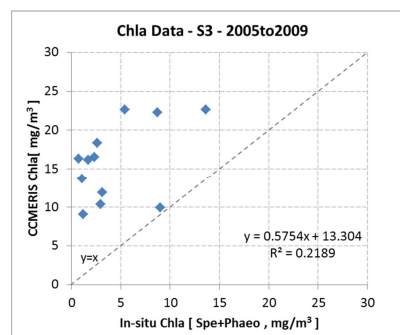
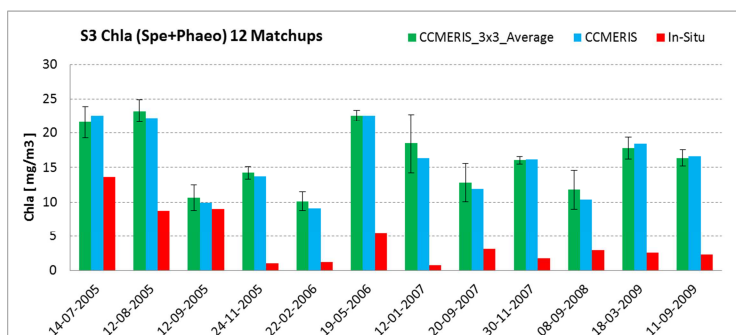


Matchups S2 (16)	CCMERIS (3by3 window)						In-situ
Date	Conc_Chla	Max_Chla	Min_Chla	Average_Chla	Median_Chla	Stdev_Chla	Chla+Phaeop
31-05-2005	0.86778	0.90235	0.30202	0.69503	0.72794	0.21390	7.17640
15-06-2005	1.45334	3.29305	0.13920	1.66285	1.66982	0.96915	14.56638
14-07-2005	1.00065	12.79479	0.19880	4.08530	1.08197	4.43284	12.64413
12-08-2005	3.57540	3.57540	0.31298	1.30522	0.96792	1.04733	7.85987
24-11-2005	1.81673	2.38658	0.10093	0.95730	0.32813	0.95454	0.35882
19-05-2006	1.05894	1.05894	0.96039	0.99515	0.96610	0.04517	2.81930
19-06-2006	3.74921	3.74921	1.43541	1.97016	1.51337	0.89463	5.34375
14-09-2006	0.10083	0.11642	0.10083	0.10605	0.10602	0.00568	2.05200
12-01-2007	0.22606	2.72239	0.08256	0.84040	0.23651	1.03540	0.38445
26-02-2007	0.10671	1.10361	0.08710	0.42193	0.34594	0.36984	0.72618
21-06-2007	0.53479	0.60129	0.24310	0.47969	0.53718	0.13909	3.28933
20-09-2007	0.96080	3.23974	0.23566	1.13595	0.94616	0.98688	2.30670
14-03-2008	0.37999	0.87853	0.37185	0.48586	0.37999	0.19705	1.40965
08-09-2008	1.40364	3.86549	0.33469	1.46183	1.24702	1.27315	3.11832
07-11-2008	0.34153	2.05296	0.16166	0.86975	0.80247	0.66323	0.42717
11-09-2009	1.01815	1.38570	1.01815	1.23373	1.28271	0.14781	2.34942

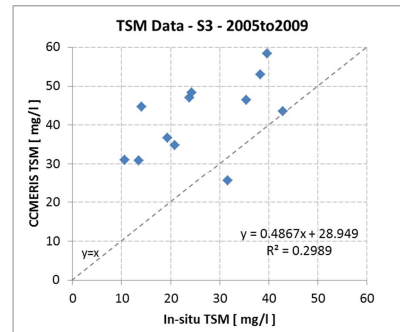
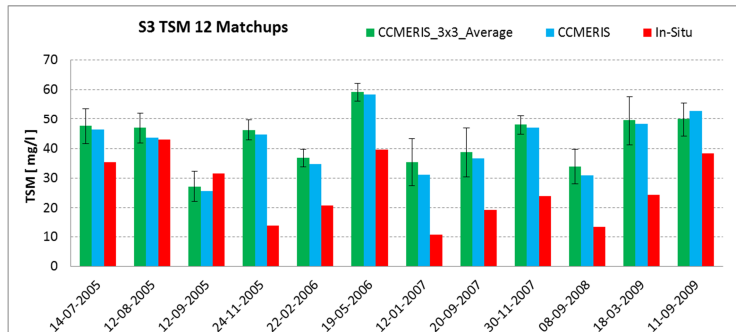


Matchups S2 (16)	CCMERIS (3by3 window)						In-situ
Date	Conc_TSM	Max_TSM	Min_TSM	Average_TSM	Median_TSM	Stdev_TSM	TSM
31-05-2005	0.47407	0.66653	0.06143	0.36042	0.45583	0.22443	34.86667
15-06-2005	0.36532	2.55256	0.03804	0.99440	0.81514	0.91005	36.26667
14-07-2005	0.16056	1.61875	0.06878	0.75508	0.73250	0.61415	38.13333
12-08-2005	1.16446	1.16446	0.06016	0.50134	0.37446	0.38244	45.40000
24-11-2005	0.67127	0.94569	0.03157	0.34603	0.04684	0.38747	18.60000
19-05-2006	0.59516	0.59516	0.34192	0.49959	0.56169	0.11232	43.30000
19-06-2006	2.71817	2.71817	0.31967	1.15781	0.92107	0.82020	41.90000
14-09-2006	0.03752	0.04108	0.03752	0.03829	0.03766	0.00140	37.63330
12-01-2007	0.04247	0.84879	0.03183	0.25068	0.04342	0.33510	18.20000
26-02-2007	0.05104	0.34121	0.04402	0.12071	0.07133	0.11172	18.53333
21-06-2007	0.10819	0.13198	0.05404	0.10027	0.10754	0.02850	40.46667
20-09-2007	0.13817	0.53417	0.04283	0.18317	0.13290	0.16594	27.79867
14-03-2008	0.08871	0.25301	0.08761	0.12145	0.08871	0.06578	41.80000
08-09-2008	0.53324	1.52917	0.05619	0.58534	0.53324	0.54008	19.00000
07-11-2008	0.05541	0.69793	0.04029	0.21431	0.11838	0.24561	31.00000
11-09-2009	0.16079	0.30537	0.16079	0.24077	0.25351	0.04647	43.93333

### Anexo B.15. Valores *in-situ* e de satélite dos *matchups* na estação 3 (2005 a 2009) e sua correlação (processamento CCMERIS).

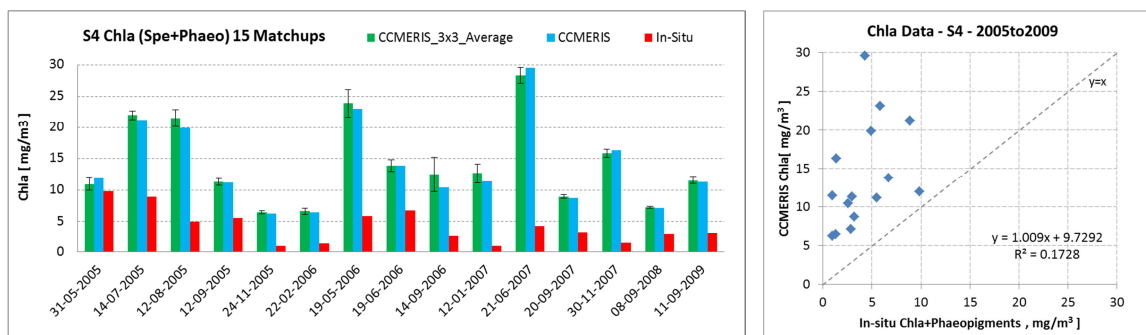


Matchups S3 (12)	CCMERIS (3by3 window)						In-situ
Date	Conc_Chla	Max_Chla	Min_Chla	Average_Chla	Median_Chla	Stdev_Chla	Chla+Phaeop
14-07-2005	22.62957	23.84141	16.22597	21.56407	22.55472	2.31088	11.44807
12-08-2005	22.25173	25.32560	20.18859	23.25425	23.85108	1.65588	7.73172
12-09-2005	9.91749	15.34801	9.00550	10.65089	10.08720	1.84573	8.03073
24-11-2005	13.69753	15.94449	13.02412	14.21255	14.35575	0.88045	0.59803
22-02-2006	9.05737	12.68366	8.85578	10.11325	10.02436	1.34318	0.59803
19-05-2006	22.62957	23.68331	21.49415	22.57524	22.62957	0.74362	3.84450
12-01-2007	16.31477	25.03975	14.02680	18.49176	16.31477	4.26983	0.46988
20-09-2007	11.90016	17.76609	9.78798	12.79247	11.90016	2.74575	2.00768
30-11-2007	16.15944	16.81803	15.15788	16.04851	16.15944	0.53122	0.89705
08-09-2008	10.40176	18.34572	8.76810	11.78742	11.18860	2.78816	1.36693
18-03-2009	18.38142	19.72746	15.13300	17.77045	18.38142	1.58273	1.23878
11-09-2009	16.58189	18.63813	14.27021	16.35270	16.43088	1.18013	0.93977

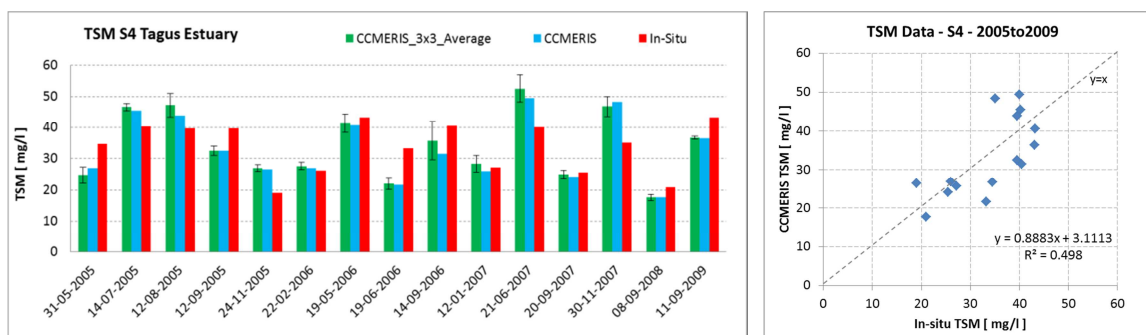


Matchups S3 (12)	CCMERIS (3by3 window)						In-situ
Date	Conc_TSM	Max_TSM	Min_TSM	Average_TSM	Median_TSM	Stdev_TSM	TSM
14-07-2005	46.42434	57.58831	38.25962	47.61541	46.42434	6.02759	35.40000
12-08-2005	43.62210	56.90641	40.98582	47.03167	44.22792	5.21172	42.93333
12-09-2005	25.58966	38.54548	22.35486	27.24313	25.58966	5.04556	31.66667
24-11-2005	44.74437	54.28075	42.79993	46.25328	44.88275	3.39186	14.13333
22-02-2006	34.79840	42.55292	33.72490	36.84044	36.69284	2.95171	20.90000
19-05-2006	58.42458	64.30240	55.66188	59.17176	58.42458	3.02567	39.70000
12-01-2007	31.10358	51.73064	27.96628	35.31106	31.10358	7.88346	10.66667
20-09-2007	36.66750	54.20465	29.79964	38.67897	36.66750	8.17314	19.39867
30-11-2007	47.02272	53.06747	43.53997	48.01246	47.02272	3.25209	23.86533
08-09-2008	30.95594	46.47429	26.86881	33.95976	33.83764	5.81573	13.53333
18-03-2009	48.34289	62.06187	38.92036	49.44388	48.34289	8.31767	24.30299
11-09-2009	52.93695	57.43110	41.58902	49.84683	52.33680	5.78519	38.33333

# **Anexo B.16. Valores *in-situ* e de satélite dos *matchups* na estação 4 (2005 a 2009) e sua correlação (processamento CCMERIS).**

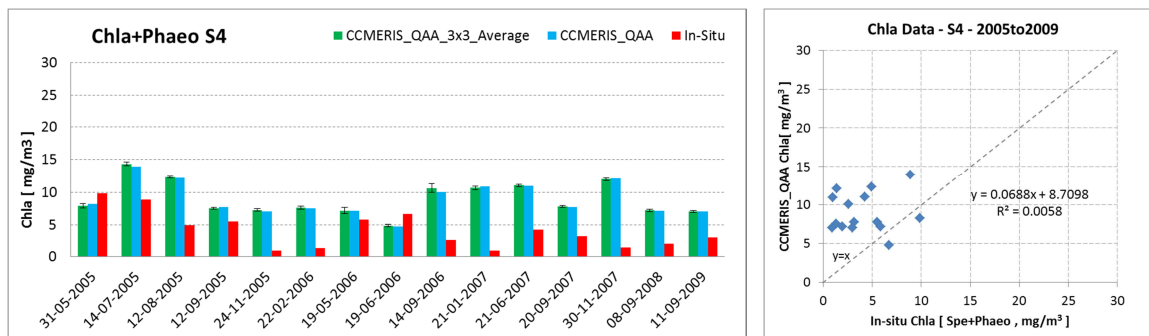


Matchups S4 (15)	CCMERIS (3by3 window)						In-situ
Date	Conc_Chla	Max_Chla	Min_Chla	Average_Chla	Median_Chla	Stdev_Chla	Chla+Phaeop
31-05-2005	11.93427	12.01117	9.47578	10.95385	10.76454	0.99666	9.86755
14-07-2005	21.19326	22.84745	20.75149	22.00180	22.27129	0.70769	8.87439
12-08-2005	19.89747	23.26605	19.79284	21.51811	21.72294	1.31725	4.93378
12-09-2005	11.20518	12.65156	10.76454	11.33570	11.20518	0.55902	5.51045
24-11-2005	6.20636	6.80754	6.04165	6.40121	6.33830	0.24872	0.92909
22-02-2006	6.45805	7.38835	6.04549	6.57731	6.45805	0.46063	1.29960
19-05-2006	23.06177	29.10251	21.61837	23.88983	23.07475	2.20205	5.84820
19-06-2006	13.80295	15.23572	12.39313	13.77943	13.80898	0.95915	6.70320
14-09-2006	10.44176	16.56278	10.44176	12.45560	10.61868	2.72705	2.56500
12-01-2007	11.46074	15.08637	11.10316	12.65101	11.92289	1.44260	0.96160
21-06-2007	29.52502	29.52502	26.73412	28.29852	29.15853	1.22948	4.26100
20-09-2007	8.69540	9.47832	8.68332	8.96687	8.81675	0.27851	3.17171
30-11-2007	16.33064	16.45138	14.06929	15.82904	15.96343	0.68079	1.37761
08-09-2008	7.09414	7.52942	7.03238	7.20443	7.12621	0.15853	2.85134
11-09-2009	11.32429	12.35268	11.03723	11.53864	11.32429	0.49959	2.97949

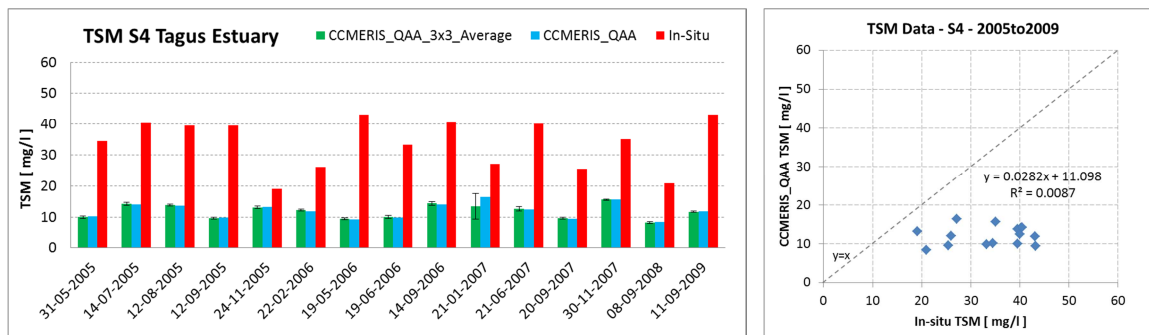


Matchups S4 (15)	CCMERIS (3by3 window)						In-situ
Date	Conc_TSM	Max_TSM	Min_TSM	Average_TSM	Median_TSM	Stdev_TSM	TSM
31-05-2005	26.73342	27.46614	21.03794	24.67027	24.71568	2.50758	34.53333
14-07-2005	45.48566	48.20087	44.17118	46.54287	46.66143	1.16489	40.20000
12-08-2005	43.87468	53.30429	43.16698	47.19584	45.46057	3.81057	39.53333
12-09-2005	32.48322	35.69992	30.65506	32.47574	31.95576	1.52212	39.53333
24-11-2005	26.44578	28.66771	25.65336	26.80362	26.34625	1.08161	19.06667
22-02-2006	26.82758	29.89098	26.28191	27.52116	26.96903	1.22938	26.03330
19-05-2006	40.70630	47.91024	35.75044	41.31195	41.15730	3.04136	43.16670
19-06-2006	21.65400	24.98466	19.58432	21.99237	21.87022	1.76218	33.23330
14-09-2006	31.47960	45.88042	31.17130	35.67709	31.47960	6.19877	40.43330
12-01-2007	25.74032	32.81926	25.74032	28.19121	26.68638	2.71994	27.10000
21-06-2007	49.38218	59.00932	48.04635	52.43414	49.38831	4.38592	40.03000
20-09-2007	24.07941	27.34751	23.44441	24.84655	24.20952	1.28878	25.39867
30-11-2007	48.30585	49.76759	39.63858	46.73969	48.27498	3.20272	35.06533
08-09-2008	17.70305	19.56379	15.96215	17.55001	17.61555	1.04393	20.93333
11-09-2009	36.46492	37.67554	36.06639	36.64814	36.46492	0.52582	43.13333

### Anexo B.17. Valores *in-situ* e de satélite dos *matchups* na estação 4 (2005 a 2009) e sua correlação (Processamento CCMERIS\_QAA).

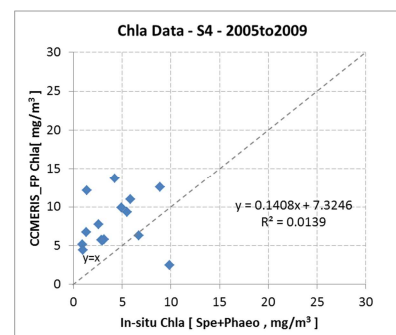
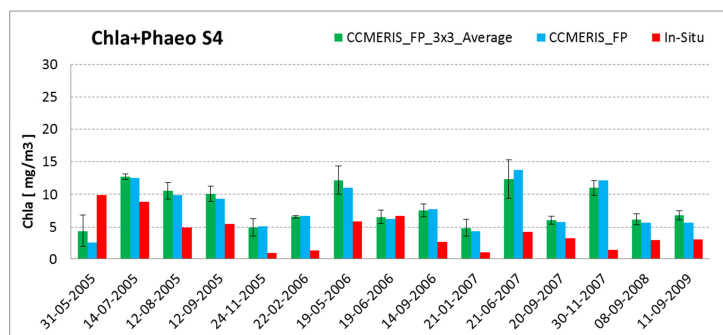


Matchups S4 (15)	CCMERIS_QAA (3by3 window)						In-situ Chla+Phaeo
Date	Conc_Chla	Max_Chla	Min_Chla	Average_Chla	Median_Chla	Stdev_Chla	
31-05-2005	8.25570	8.25570	7.31115	7.89999	7.73260	0.33814	9.86755
14-07-2005	13.93373	14.74654	13.84561	14.31431	14.37189	0.31301	8.87439
12-08-2005	12.29699	12.51093	12.07121	12.32901	12.32456	0.15794	4.93378
12-09-2005	7.73890	7.74190	7.35771	7.57402	7.59723	0.12191	5.51045
24-11-2005	7.02689	7.55715	7.02689	7.30163	7.27020	0.18898	0.92909
22-02-2006	7.53376	8.12338	7.36634	7.66513	7.54826	0.26646	1.29960
19-05-2006	7.15915	8.19504	6.59436	7.20523	7.15915	0.46259	5.84820
19-06-2006	4.77620	5.35160	4.58367	4.88371	4.82709	0.20440	6.70320
14-09-2006	10.04781	11.68660	10.03356	10.66056	10.30610	0.70497	2.56500
21-01-2007	10.92964	10.95488	9.92668	10.70014	10.68483	0.30775	0.96160
21-06-2007	11.03964	11.48189	10.93066	11.08449	11.03628	0.20424	4.26100
20-09-2007	7.76886	8.18504	7.74661	7.87685	7.83950	0.13398	3.17171
30-11-2007	12.11496	12.18733	11.49307	12.02420	12.10719	0.20014	1.37761
08-09-2008	7.18200	7.68150	6.94900	7.21905	7.16390	0.21525	1.96497
11-09-2009	7.05824	7.24677	6.84763	7.03919	7.05824	0.13432	2.97949

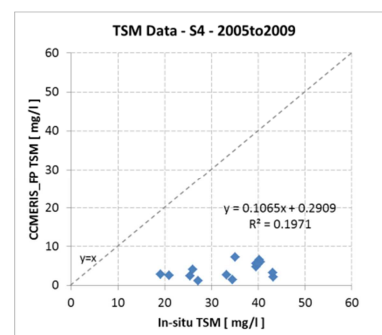
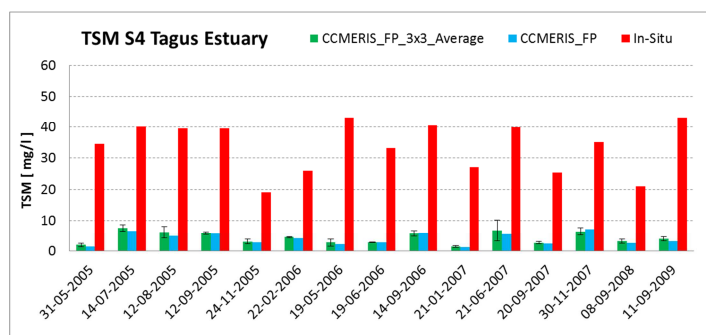


Matchups S4 (15)	CCMERIS_QAA (3by3 window)						In-situ TSM
Date	Conc_TSM	Max_TSM	Min_TSM	Average_TSM	Median_TSM	Stdev_TSM	
31-05-2005	10.20667	10.44673	9.49355	10.00995	10.06745	0.34955	34.53333
14-07-2005	14.01924	15.14105	13.43767	14.34897	14.39850	0.46834	40.20000
12-08-2005	13.76185	14.42661	13.59865	13.92416	13.76185	0.30865	39.53333
12-09-2005	9.93685	10.06557	9.12036	9.67159	9.84715	0.35961	39.53333
24-11-2005	13.24695	13.88114	12.68638	13.18989	12.95291	0.42499	19.06667
22-02-2006	11.98438	12.86596	11.93854	12.22402	12.18106	0.30118	26.03333
19-05-2006	9.37385	9.95814	8.74800	9.42521	9.45660	0.32507	43.16667
19-06-2006	9.81571	11.34944	9.50347	10.14688	9.98501	0.50399	33.23333
14-09-2006	14.14597	15.51473	13.91979	14.48635	14.14597	0.62213	40.43333
21-01-2007	16.44553	13.49769	15.80386	4.06483	10.95488	9.92668	27.10000
21-06-2007	12.42170	12.66105	12.41828	0.72738	11.48189	10.93066	40.03000
20-09-2007	9.52659	9.68410	9.52659	0.36571	8.18504	7.74661	25.39867
30-11-2007	15.65138	15.63661	15.65138	0.20463	12.18733	11.49307	35.06533
08-09-2008	8.38340	7.86629	8.31441	8.34771	0.28439	7.68150	20.93333
11-09-2009	11.87782	11.96358	11.36957	11.75132	11.72869	0.18140	43.13333

# Anexo B.18. Valores *in-situ* e de satélite dos *matchups* na estação 4 (2005 a 2009) e sua correlação (Processamento CCMERIS\_FP).

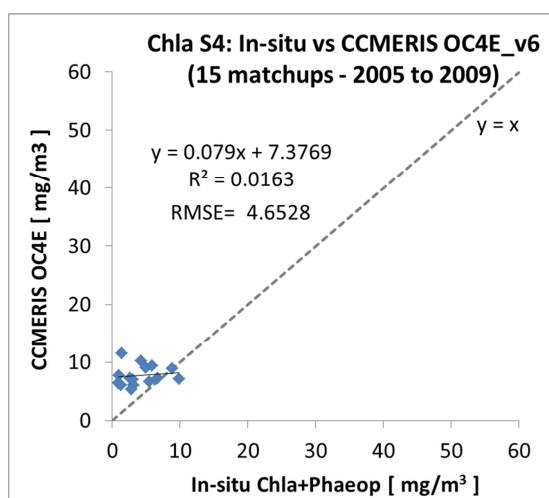
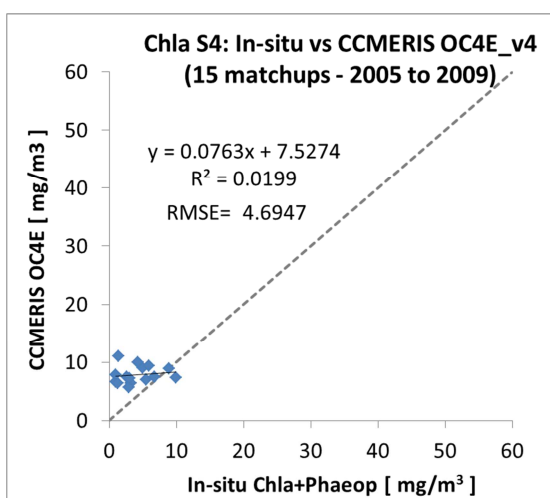
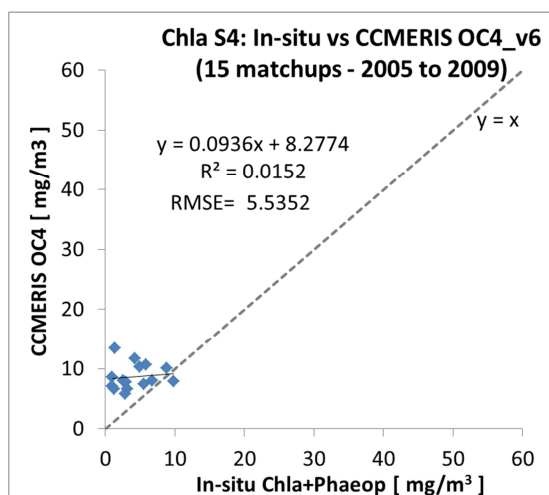
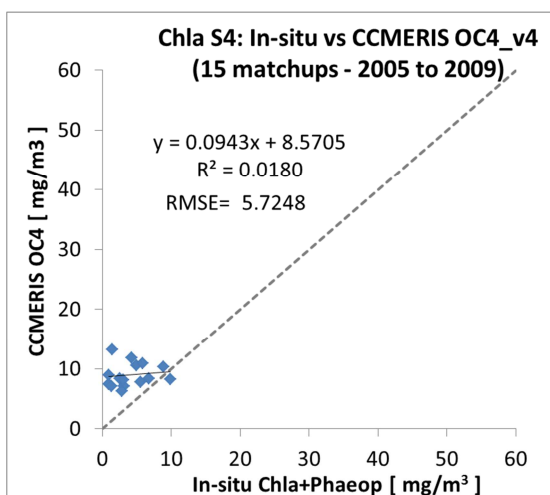
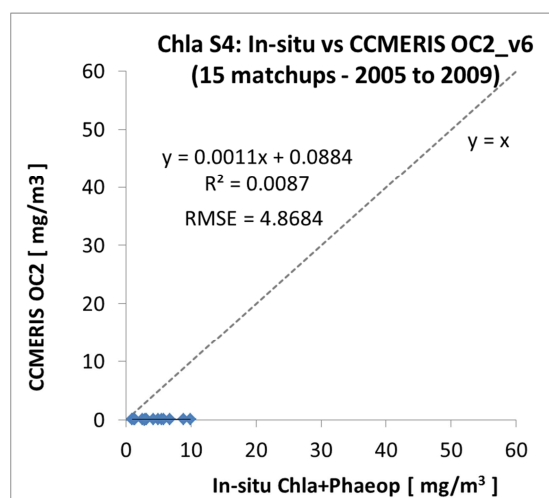
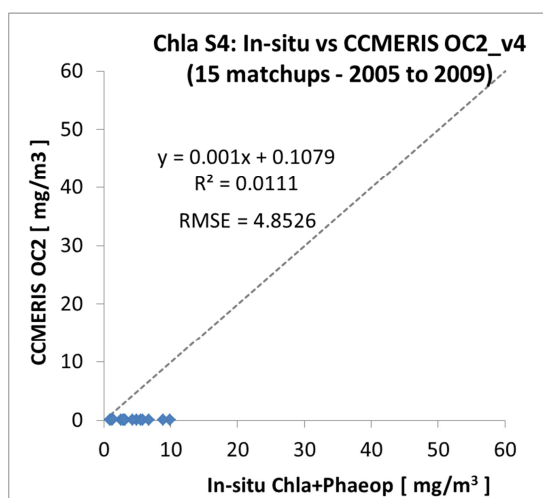


Matchups S4 (15)	CCMERIS_FP (3by3 window)						In-situ
Date	Conc. Chl	Max. Chl	Min. Chl	Average Chl	Median Chl	Stdev Chl	Chl+Phaeo
31-05-2005	2.47524	9.50467	1.99986	4.39310	4.00767	2.46526	9.86755
14-07-2005	12.55777	1.07131	12.15810	12.71517	12.60020	0.44434	8.87439
12-08-2005	9.91988	1.95415	9.31512	10.56688	9.94936	1.24182	4.93378
12-09-2005	9.29964	0.53650	8.98317	10.07132	9.86108	1.14406	5.51045
24-11-2005	5.16356	0.74377	2.43844	4.89369	5.16356	1.44199	0.92909
22-02-2006	6.71255	0.25153	6.30735	6.58556	6.56523	0.20620	1.29960
19-05-2006	10.97489	1.18739	9.33320	12.18756	11.83522	2.18281	5.84820
19-06-2006	6.27338	0.10175	5.04516	6.56974	6.27338	1.02797	6.70320
14-09-2006	7.72406	1.01953	6.18803	7.57669	7.72406	0.95930	2.56500
21-01-2007	4.42043	0.27895	1.94785	4.83623	5.14282	1.33099	0.96160
21-06-2007	13.73559	3.46853	9.15335	12.29316	10.47176	2.94837	4.26100
20-09-2007	5.80378	0.40061	5.34594	6.06567	5.96190	0.57677	3.17171
30-11-2007	12.14617	1.20455	9.43430	10.97847	10.68822	1.15093	1.37761
08-09-2008	5.72120	0.74438	4.13151	6.16339	6.36560	0.83370	2.85134
11-09-2009	5.69138	0.62273	5.69138	6.80293	6.92602	0.68578	2.97949



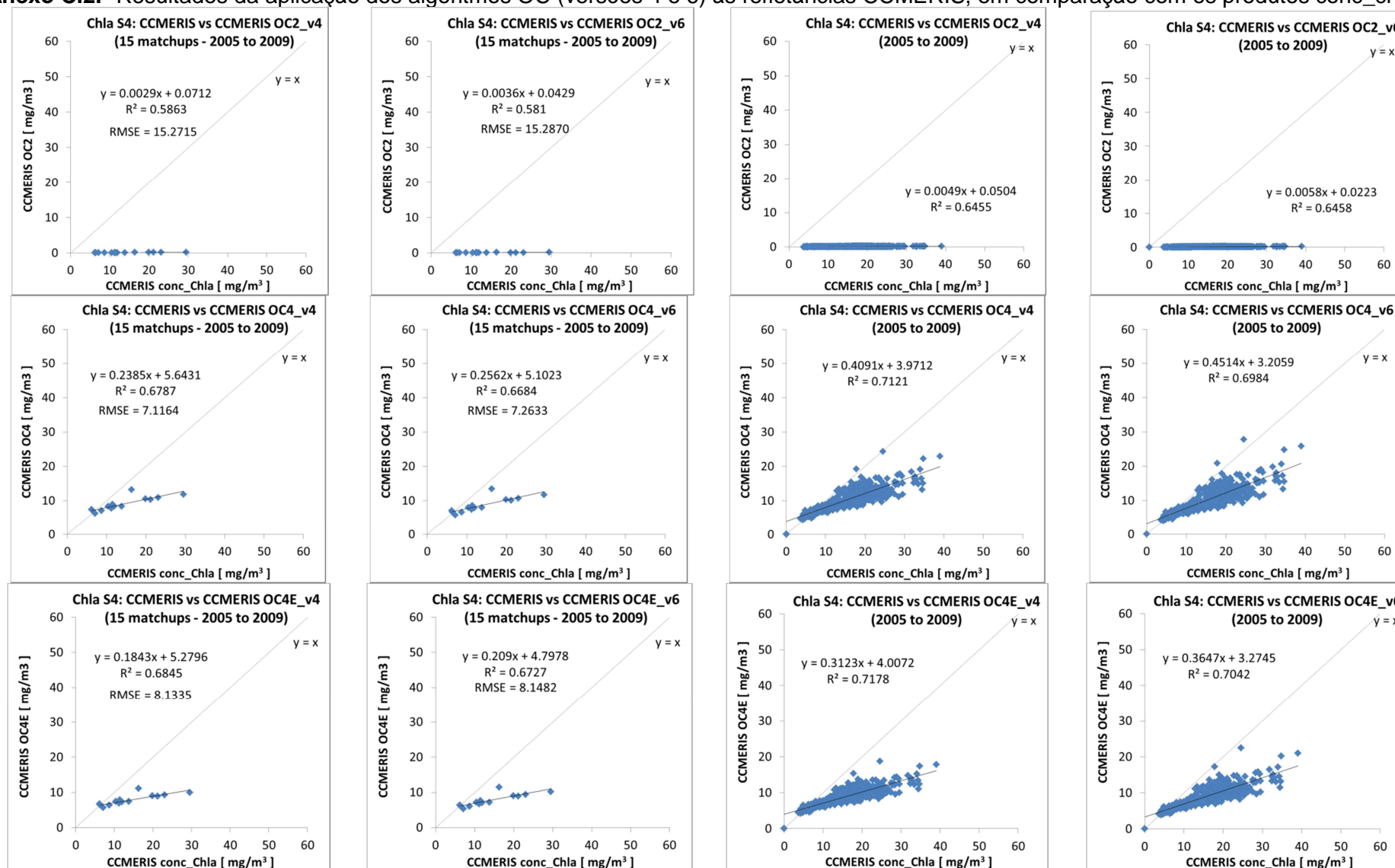
Matchups S4 (15)	CCMERIS_FP (3by3 window)						In-situ
Date	Conc. TSM	Max. TSM	Min. TSM	Average TSM	Median TSM	Stdev TSM	TSM
31-05-2005	1.41406	3.10155	1.41406	1.92860	1.63506	0.60866	34.53333
14-07-2005	6.60295	9.88559	6.60295	7.56537	7.21994	1.07131	40.20000
12-08-2005	4.80798	10.26819	4.57040	6.12991	4.80798	1.95415	39.53333
12-09-2005	5.62927	6.70049	5.23230	5.86652	5.64417	0.53650	39.53333
24-11-2005	2.83289	4.30480	1.88281	3.02531	2.93557	0.74377	19.06667
22-02-2006	4.16202	4.79008	4.15088	4.41043	4.25897	0.25153	26.03333
19-05-2006	2.11258	5.93145	1.72043	2.69837	2.44359	1.18739	43.16667
19-06-2006	2.78892	2.97381	2.66966	2.82471	2.78892	0.10175	33.23333
14-09-2006	5.99117	7.56188	4.36043	5.70506	5.99117	1.01953	40.43333
21-01-2007	1.14773	1.80361	0.88580	1.37795	1.45921	0.27895	27.10000
21-06-2007	5.48225	13.01472	3.37350	6.73759	5.50844	3.46853	40.03000
20-09-2007	2.39919	3.35177	1.97617	2.61288	2.52807	0.40061	25.39867
30-11-2007	7.25386	8.65712	4.91152	6.36180	6.01648	1.20455	35.06533
08-09-2008	2.53217	4.26125	1.69208	3.13621	3.14701	0.74438	20.93333
11-09-2009	3.22600	5.42734	3.22600	3.95130	4.03679	0.62273	43.13333

**Anexo C.1.** Resultados da aplicação dos algoritmos OC (versões 4 e 6) às refletâncias CCMERIS, em comparação com a concentração de Chl-a medida *in-situ*.

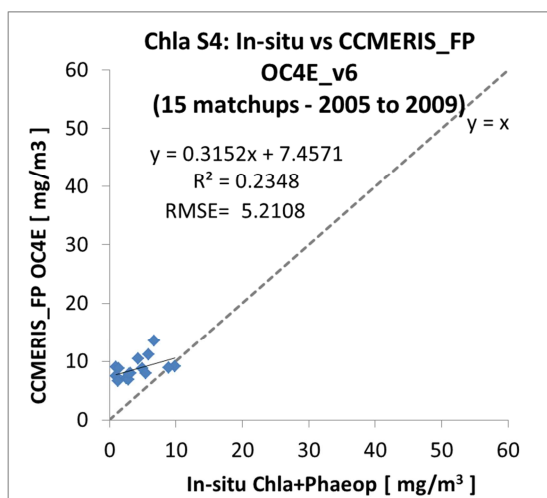
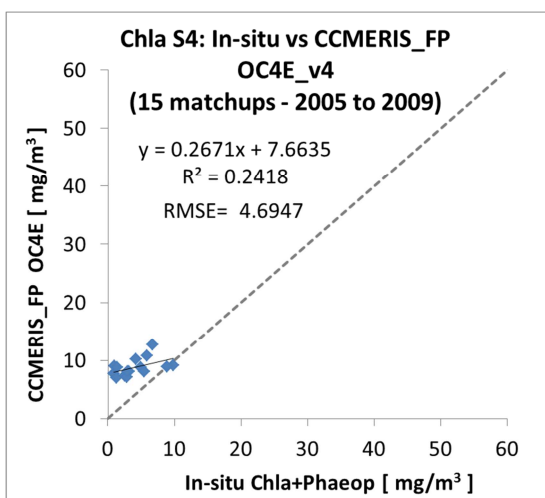
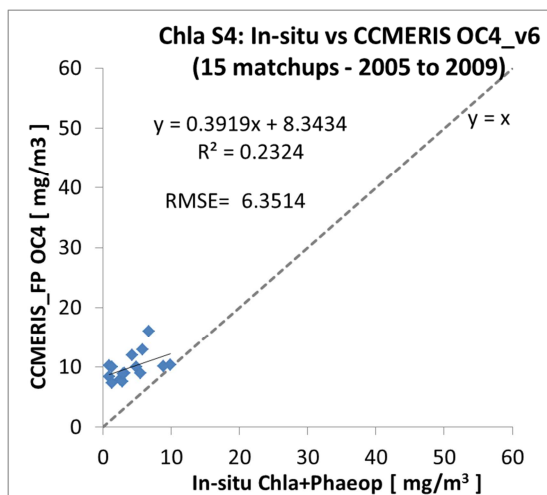
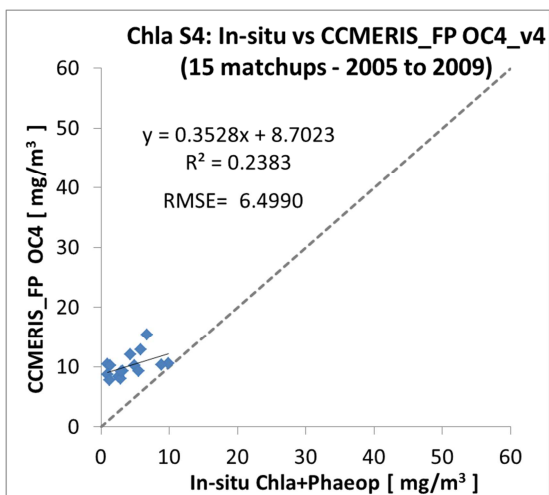
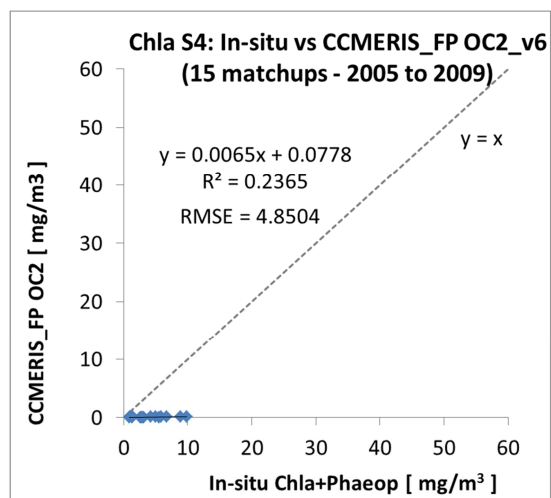
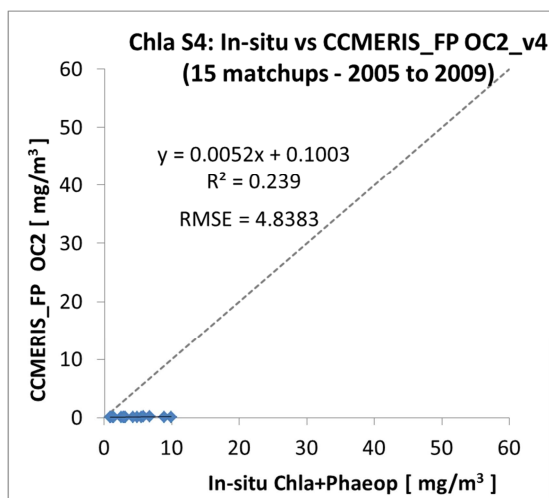




## Anexo C.2. Resultados da aplicação dos algoritmos OC (versões 4 e 6) às refletâncias CCMERIS, em comparação com os produtos conc\_chl.

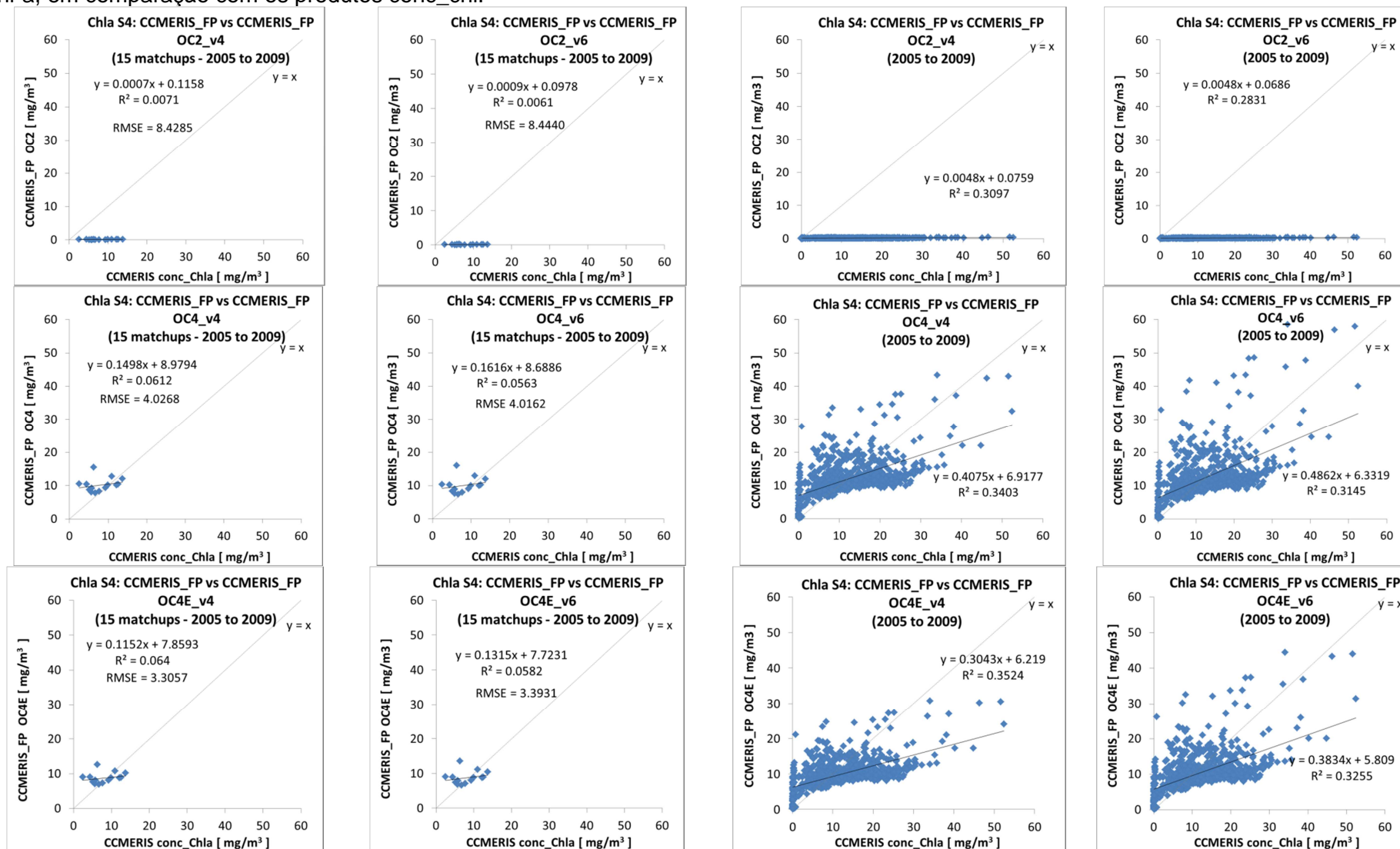


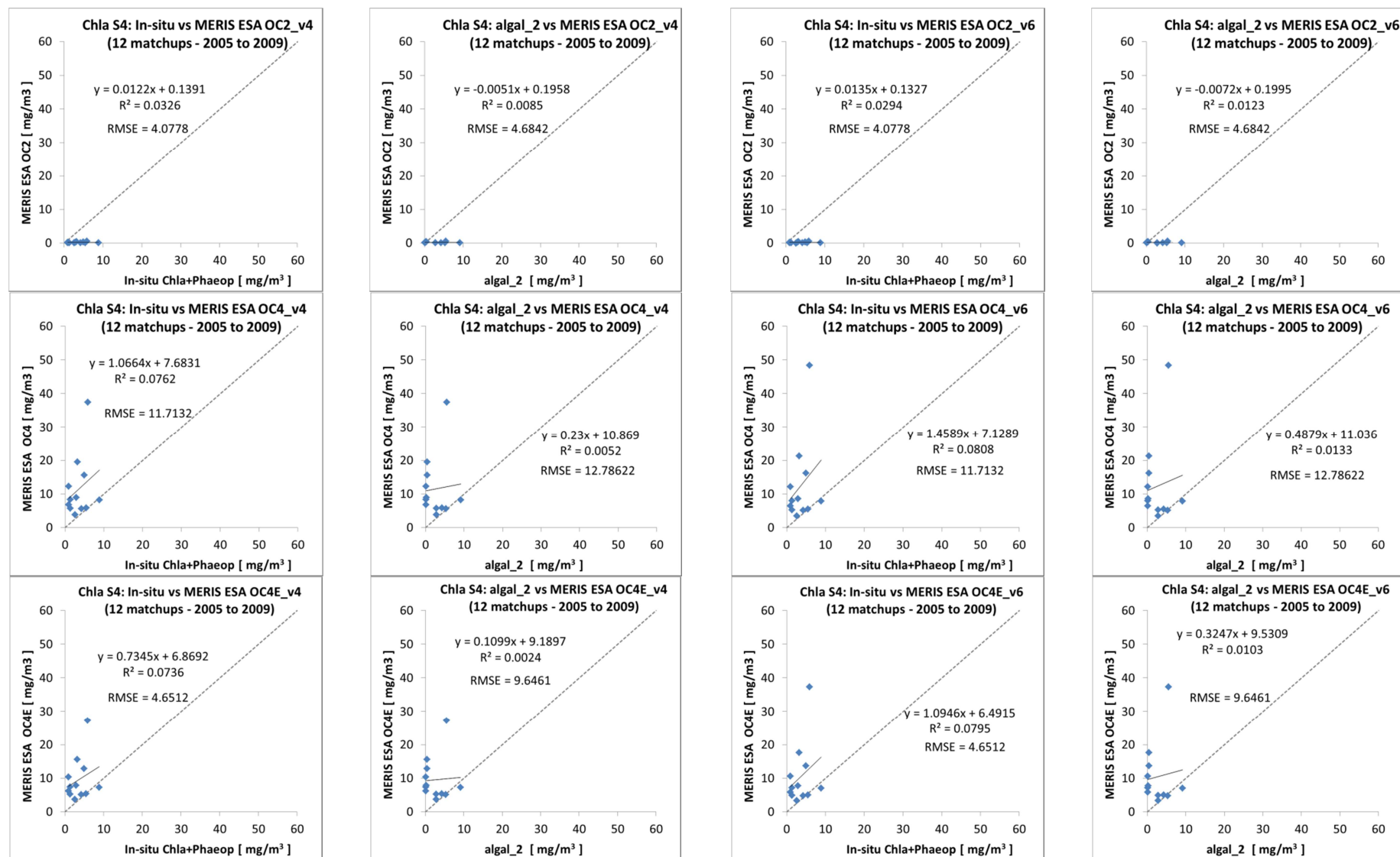
**Anexo C.3.** Resultados da aplicação dos algoritmos OC (versões 4 e 6) às refletâncias CCMERIS\_FP, em comparação com a concentração de Chl-a medida *in-situ*.

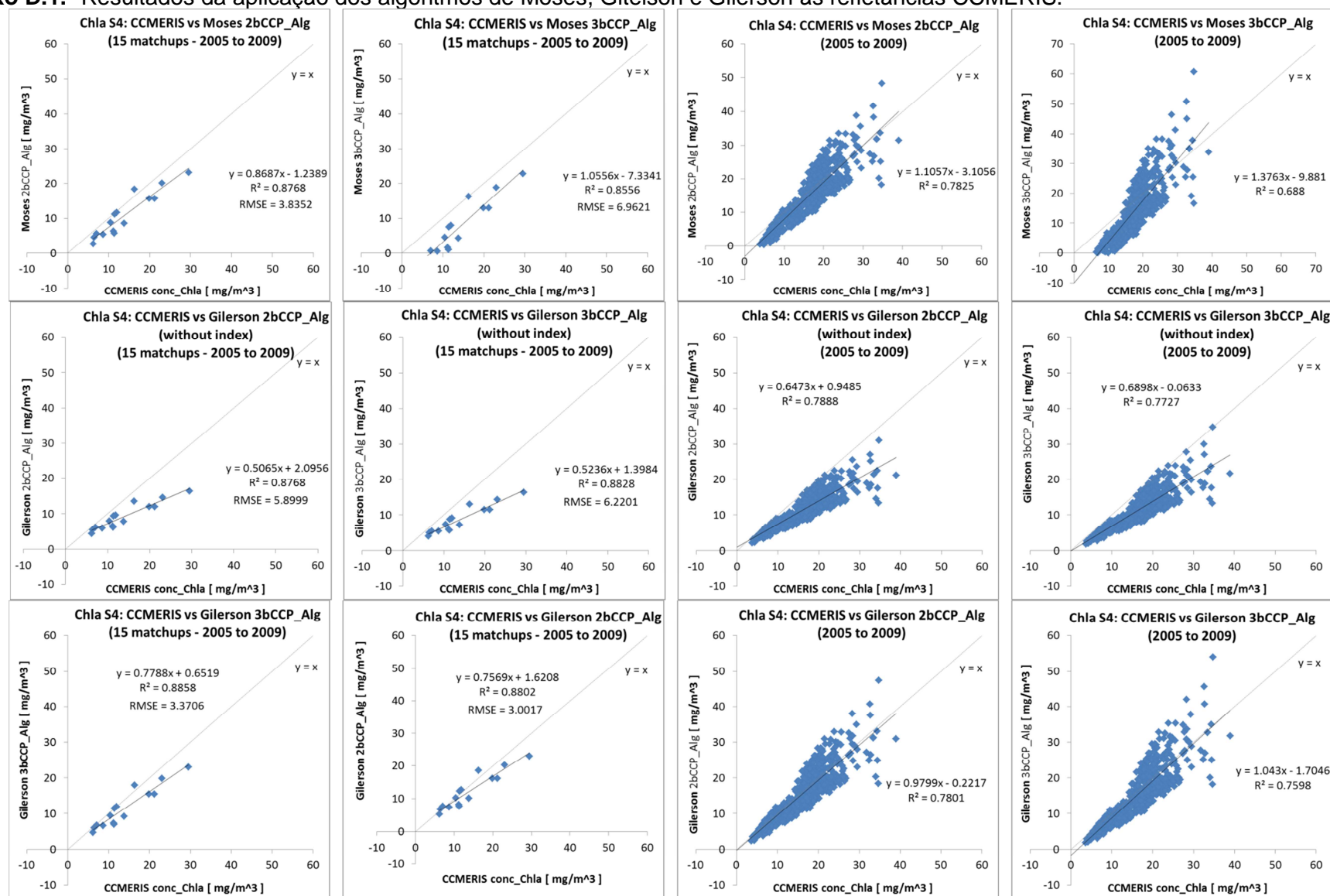




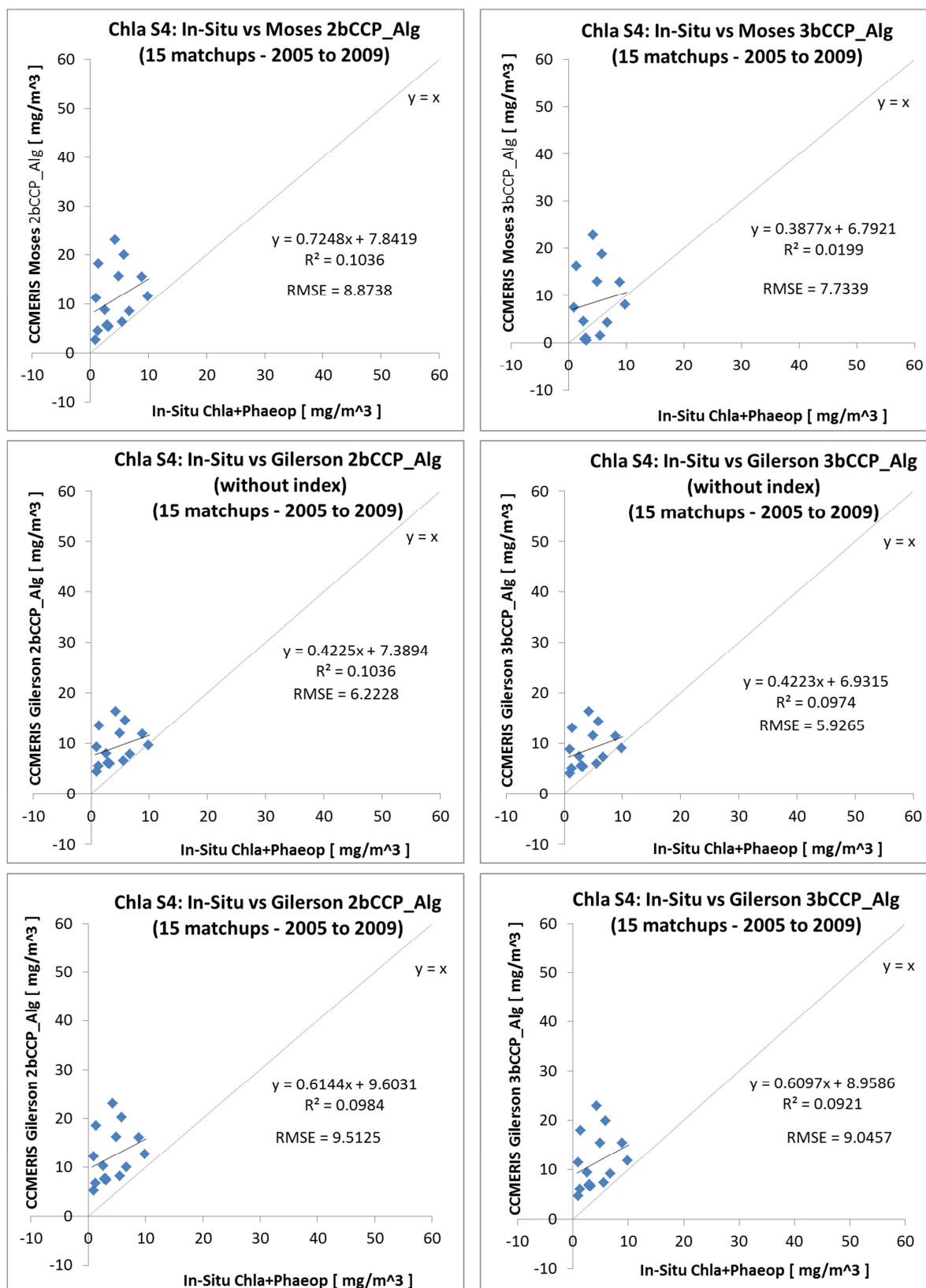
**Anexo C.4.** Resultados da aplicação dos algoritmos OC (versões 4 e 6) às refletâncias CCMERIS\_FP para determinação da concentração de Chl-a, em comparação com os produtos conc\_chl.

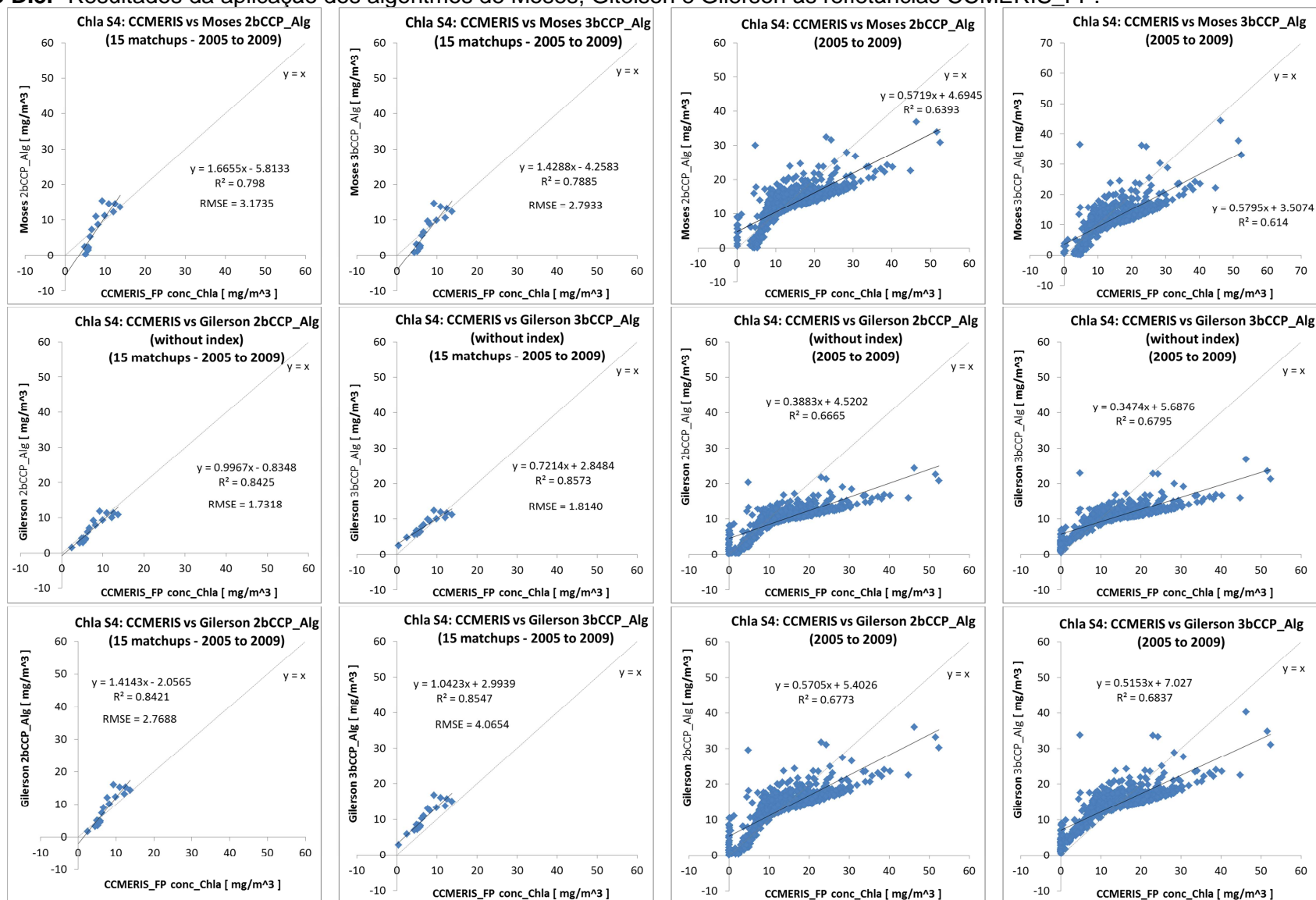


**Anexo C.5. Resultados da aplicação dos algoritmos OC (versões 4 e 6) às refletâncias MERIS ESA**

**Anexo D.1.** Resultados da aplicação dos algoritmos de Moses, Gitelson e Gilerson às refletâncias CCMERIS.

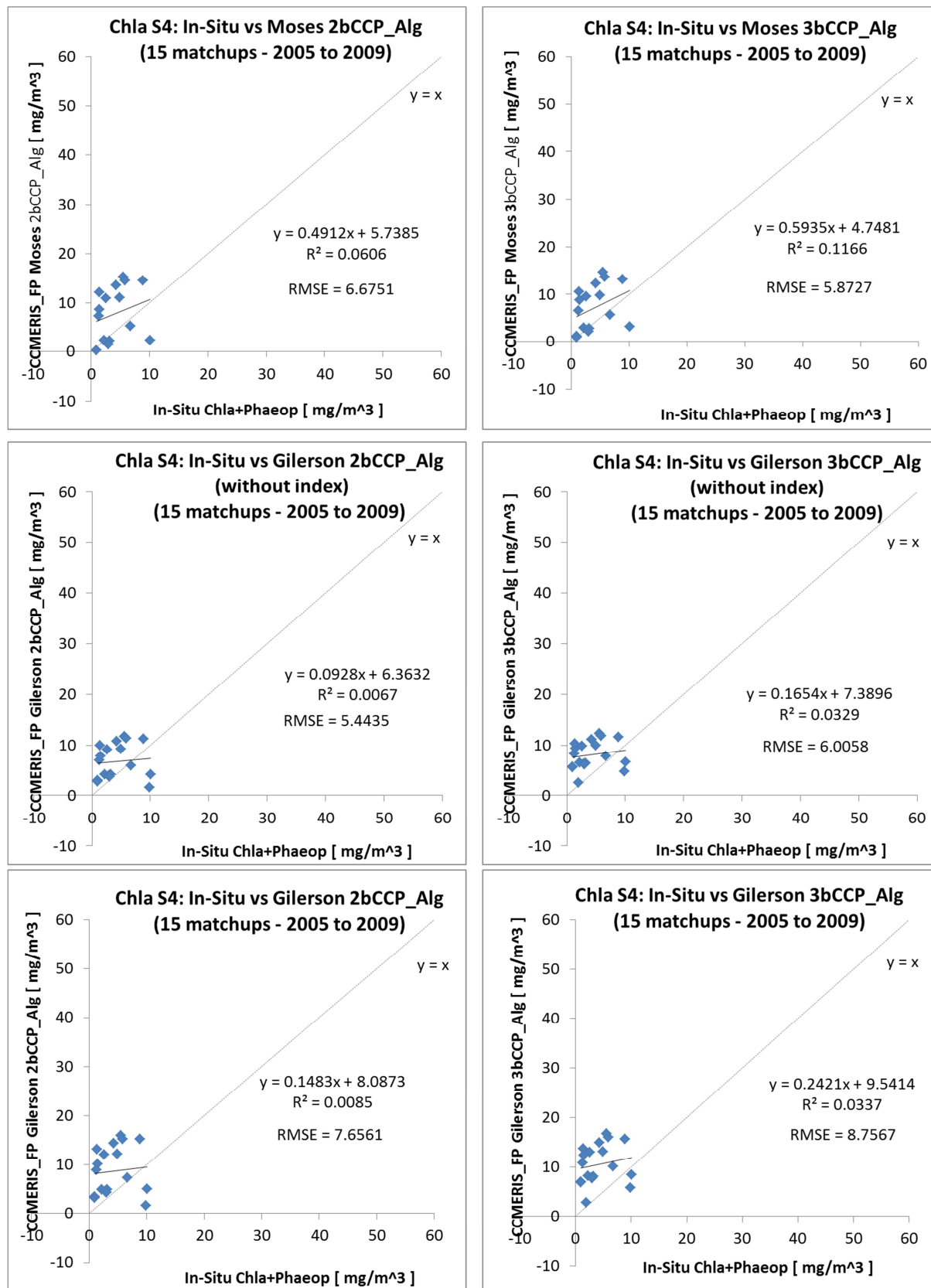
## Anexo D.2. Resultados da aplicação dos algoritmos de Moses, Gitelson e Gilson às refletâncias CCMERIS.

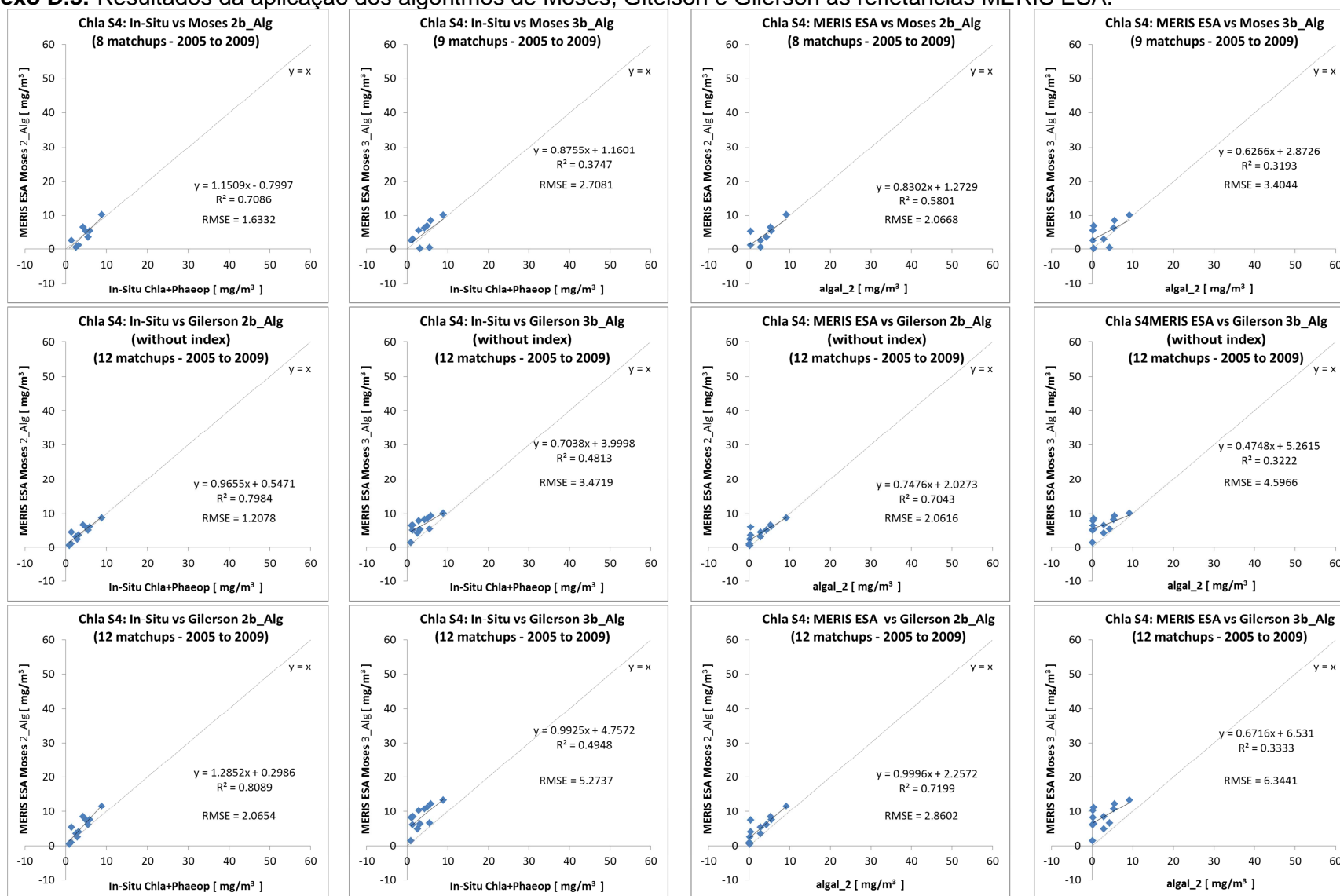


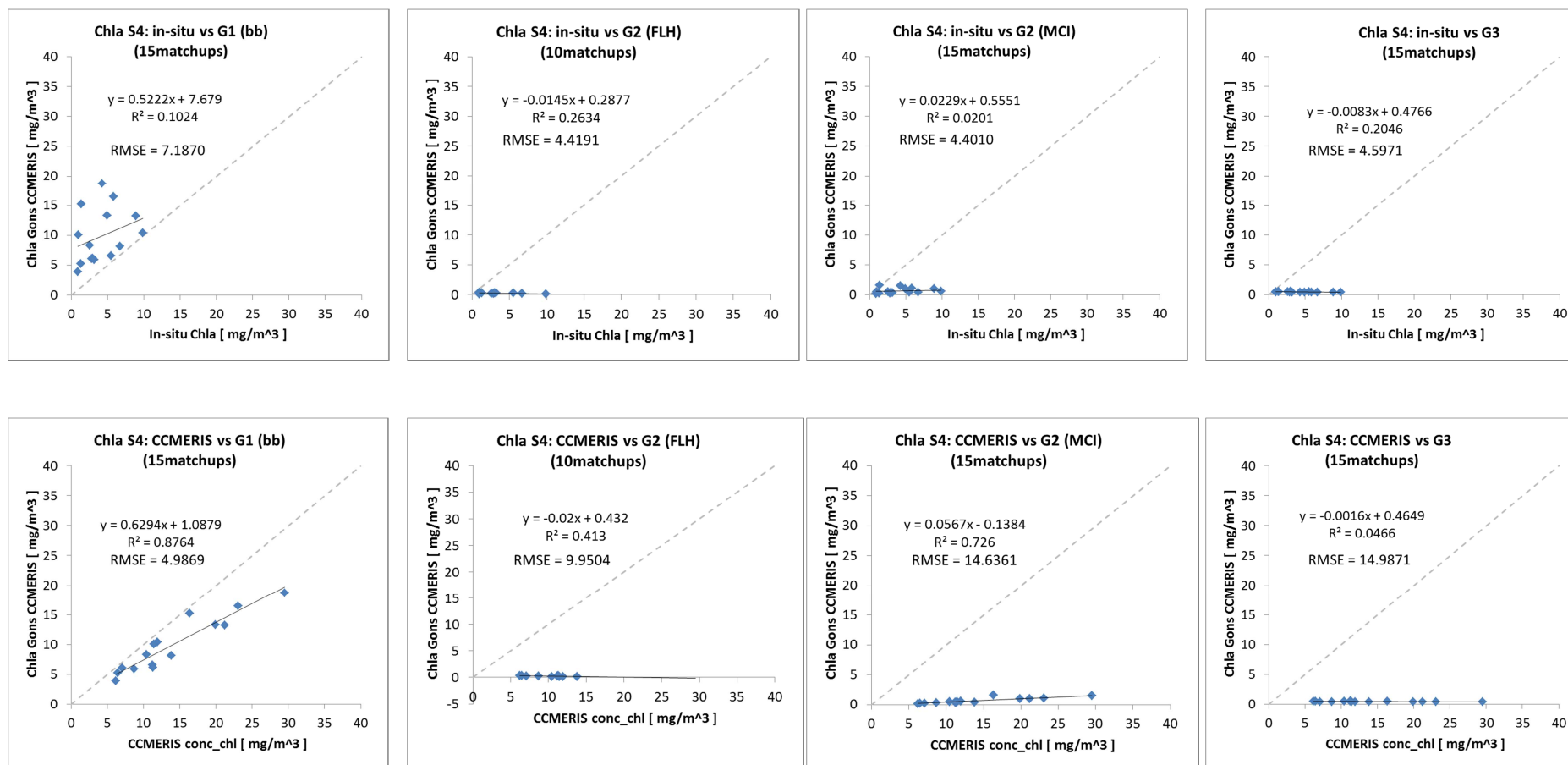
**Anexo D.3. Resultados da aplicação dos algoritmos de Moses, Gitelson e Gilerson às refletâncias CCMERIS\_FP.**



#### Anexo D.4. Resultados da aplicação dos algoritmos de Moses, Gitelson e Gilerson às refletâncias CCMERIS\_FP.

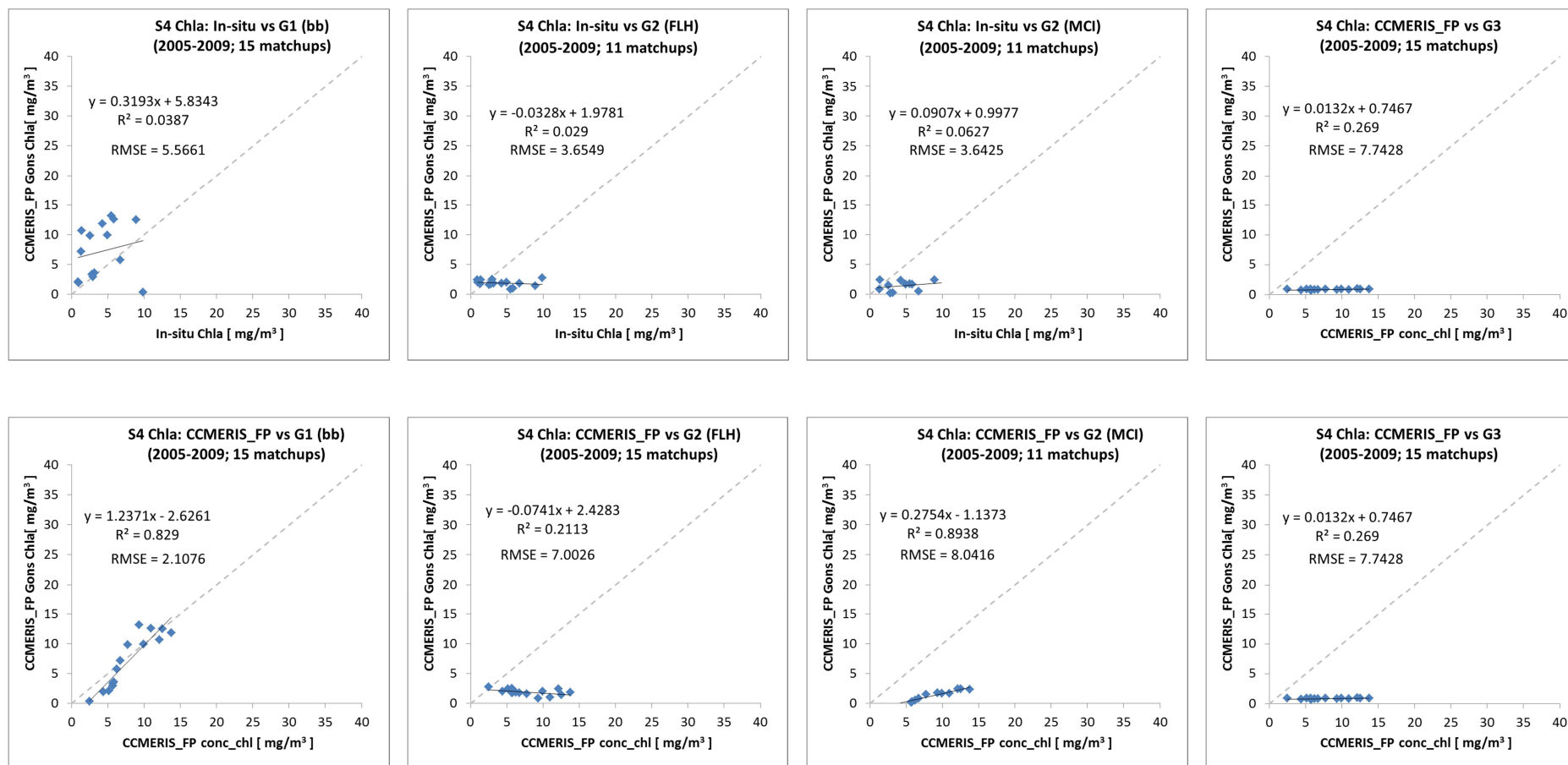


**Anexo D.5. Resultados da aplicação dos algoritmos de Moses, Gitelson e Gilerson às refletâncias MERIS ESA.**

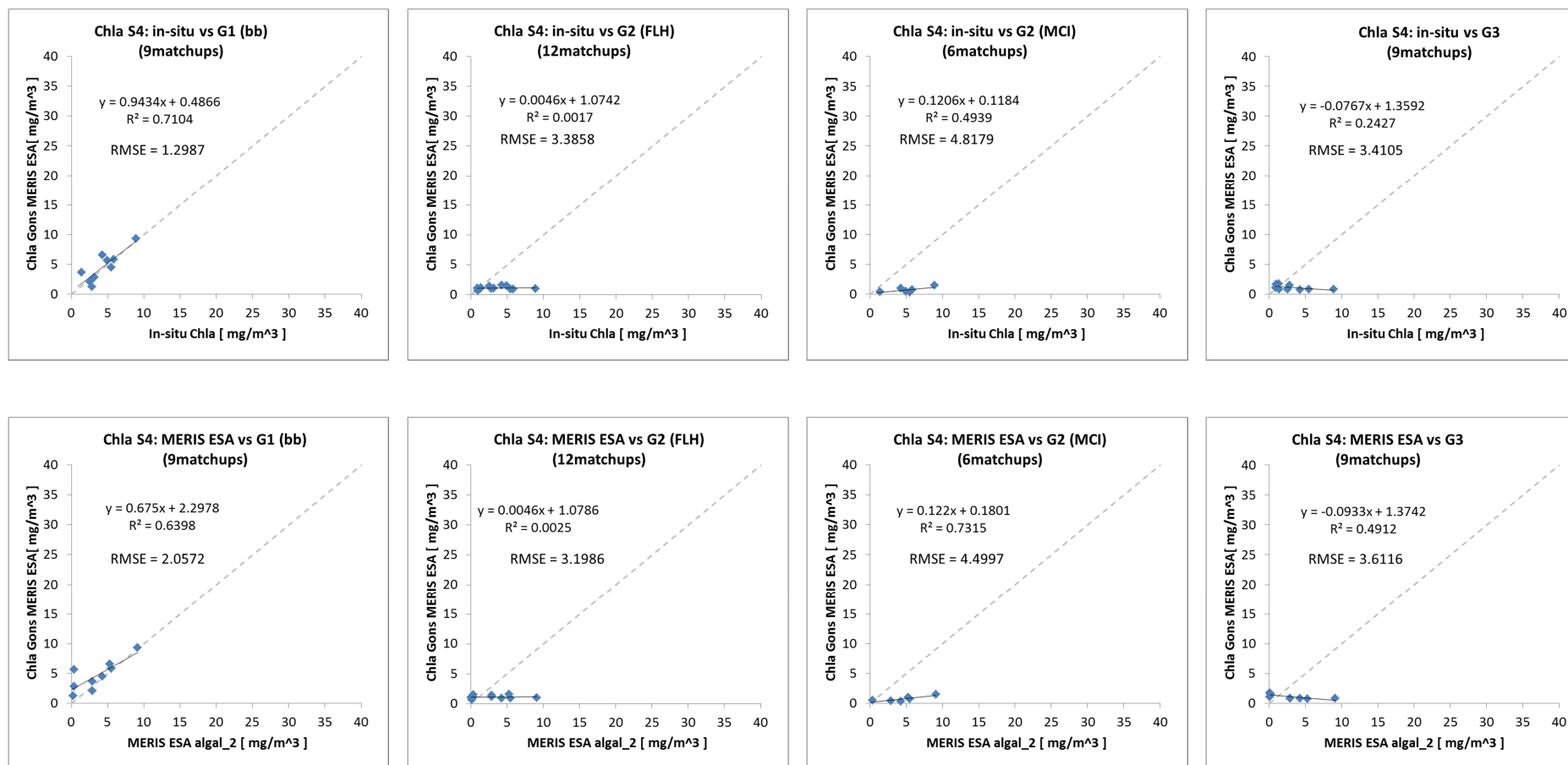
**Anexo E.1.** Resultados da aplicação dos algoritmos Gons et al às refletâncias CCMERIS.



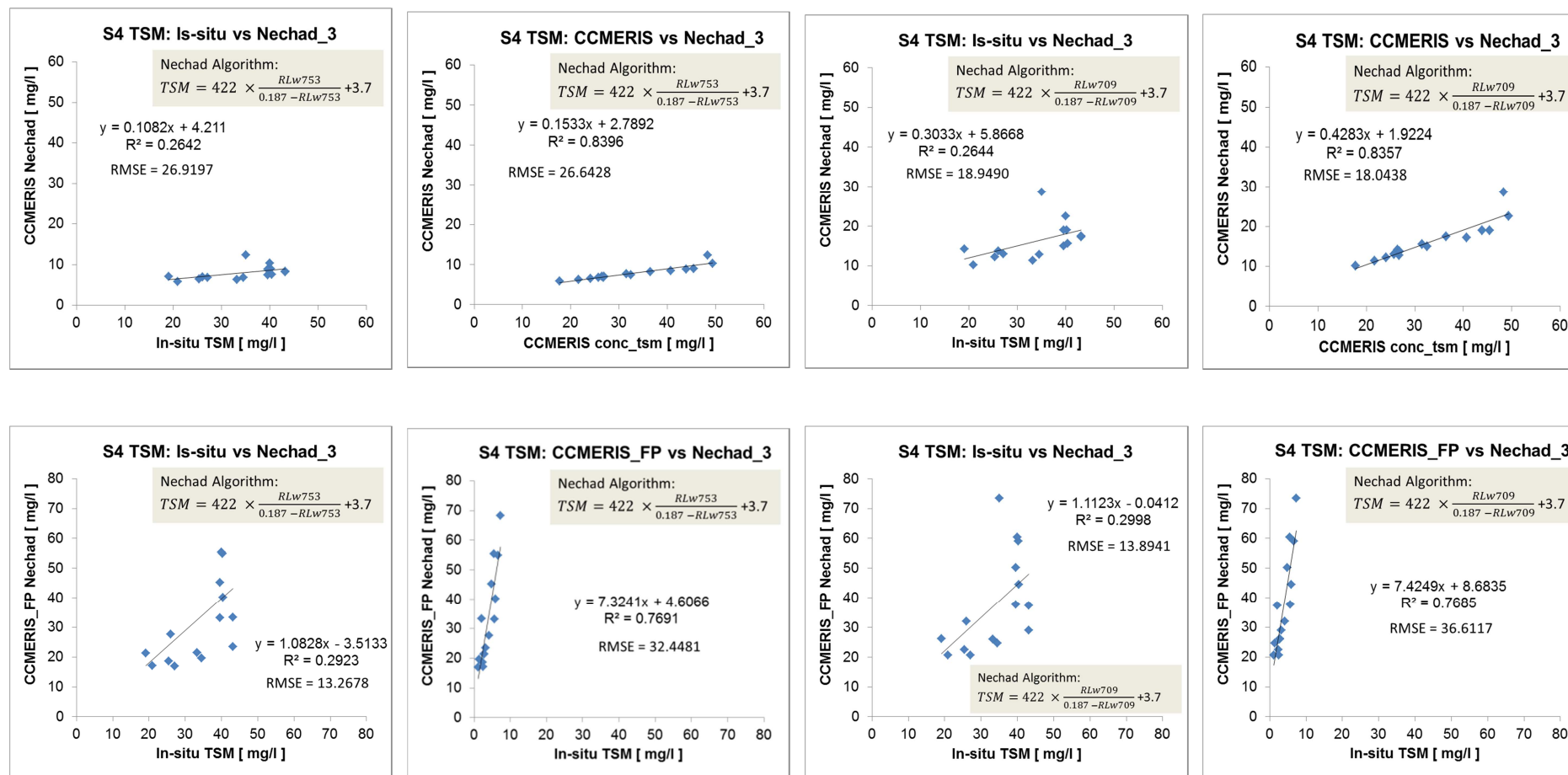
**Anexo E.2.** Resultados da aplicação dos algoritmos Gons et al às refletâncias CCMERIS\_FP para determinação da concentração de Chl-a, em comparação com os dados *in-situ* e com os valores *matchups* de satélite (2005-2009).

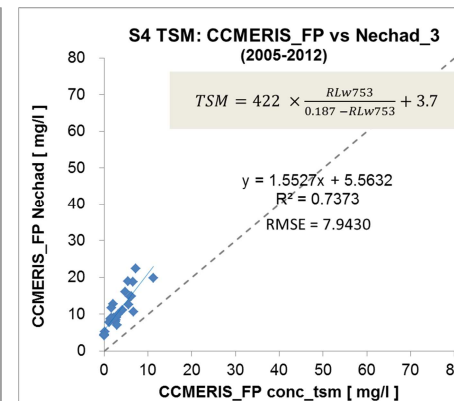
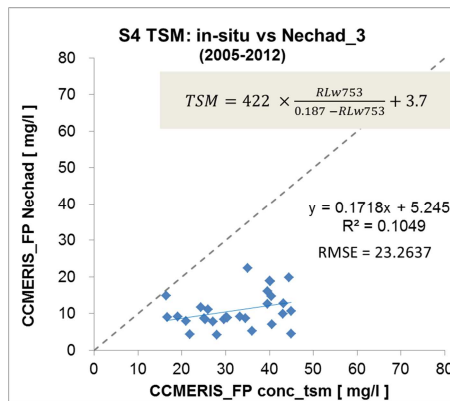
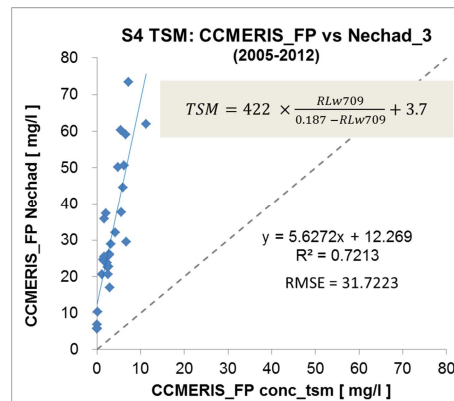
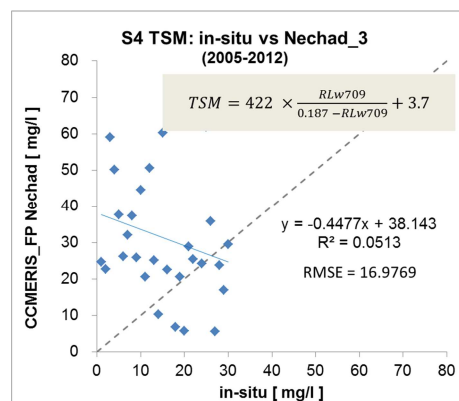
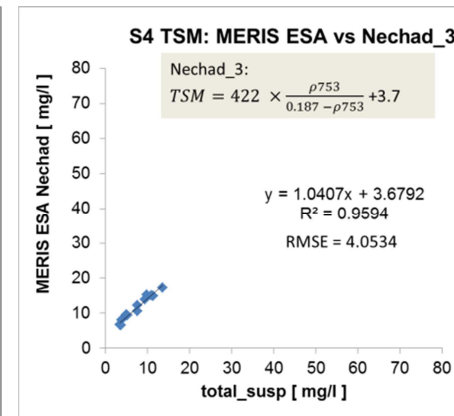
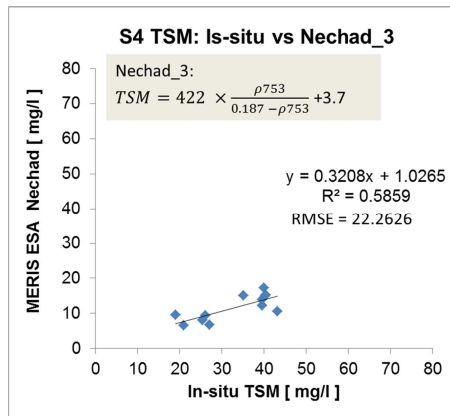
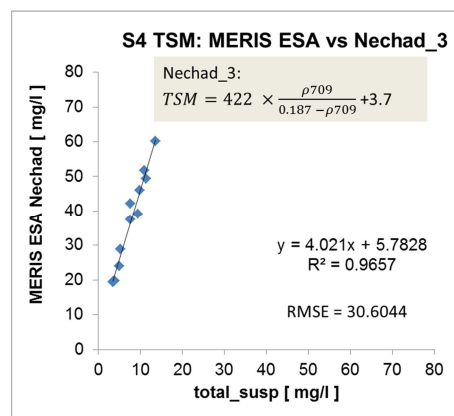
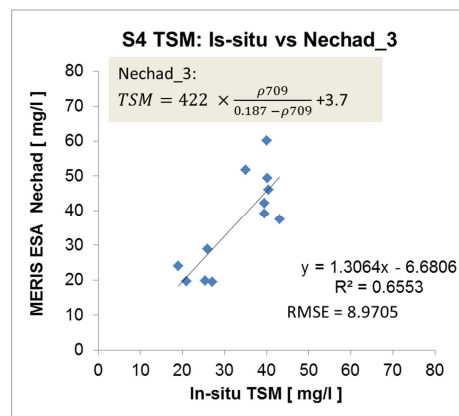


**Anexo E.3.** Resultados da aplicação dos algoritmos Gons et al às refletâncias MERIS ESA para determinação da concentração de Chl-a, em comparação com os dados *in-situ* e com os valores *matchups* de satélite (2005-2009).

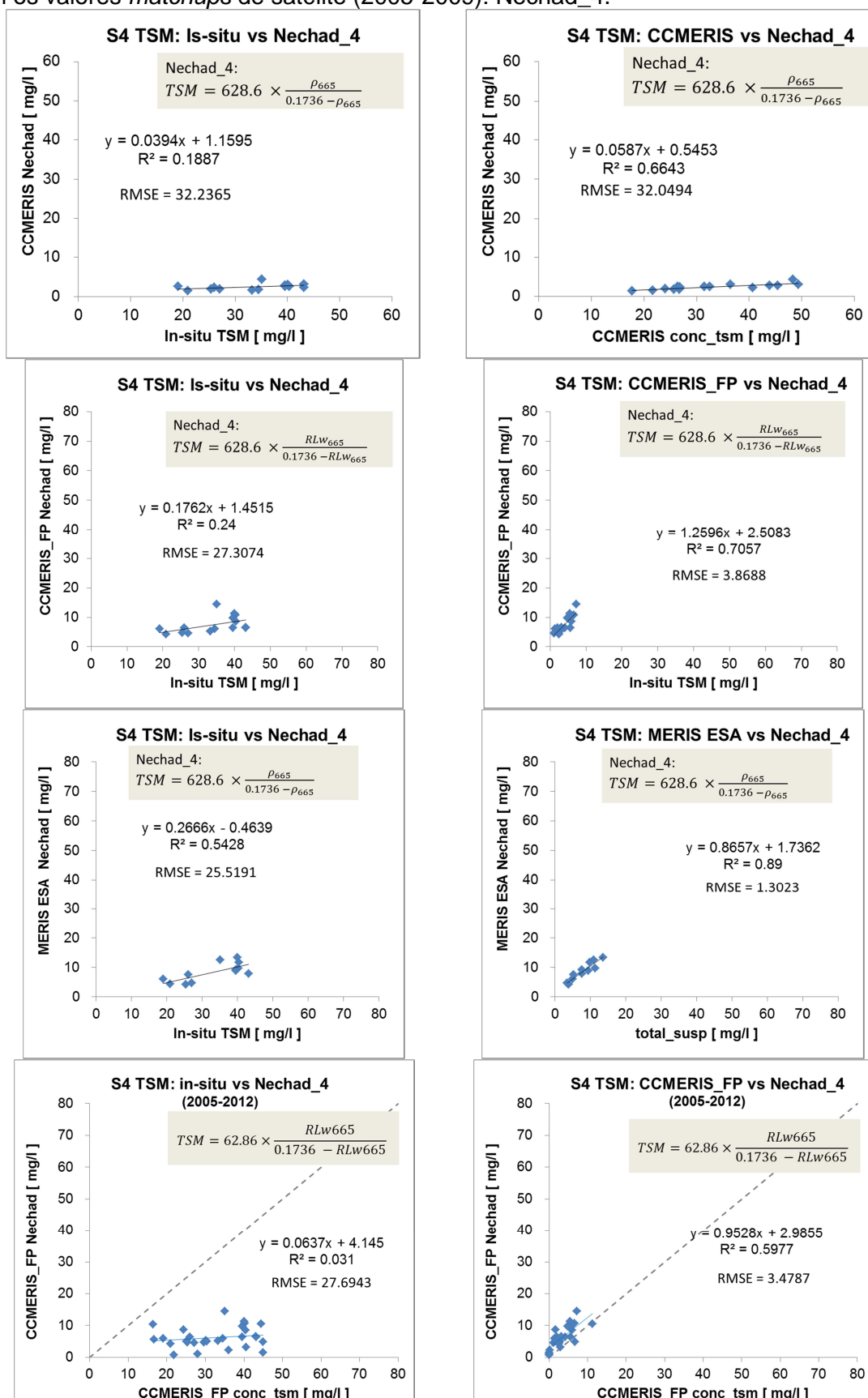


**Anexo F.1.** Resultados da aplicação dos algoritmos Nechad e Ruddick às refletâncias CCMERIS para determinação da concentração de TSM, em comparação com os dados *in-situ* e com os valores *matchups* de satélite (2005-2009): Nechad\_3.

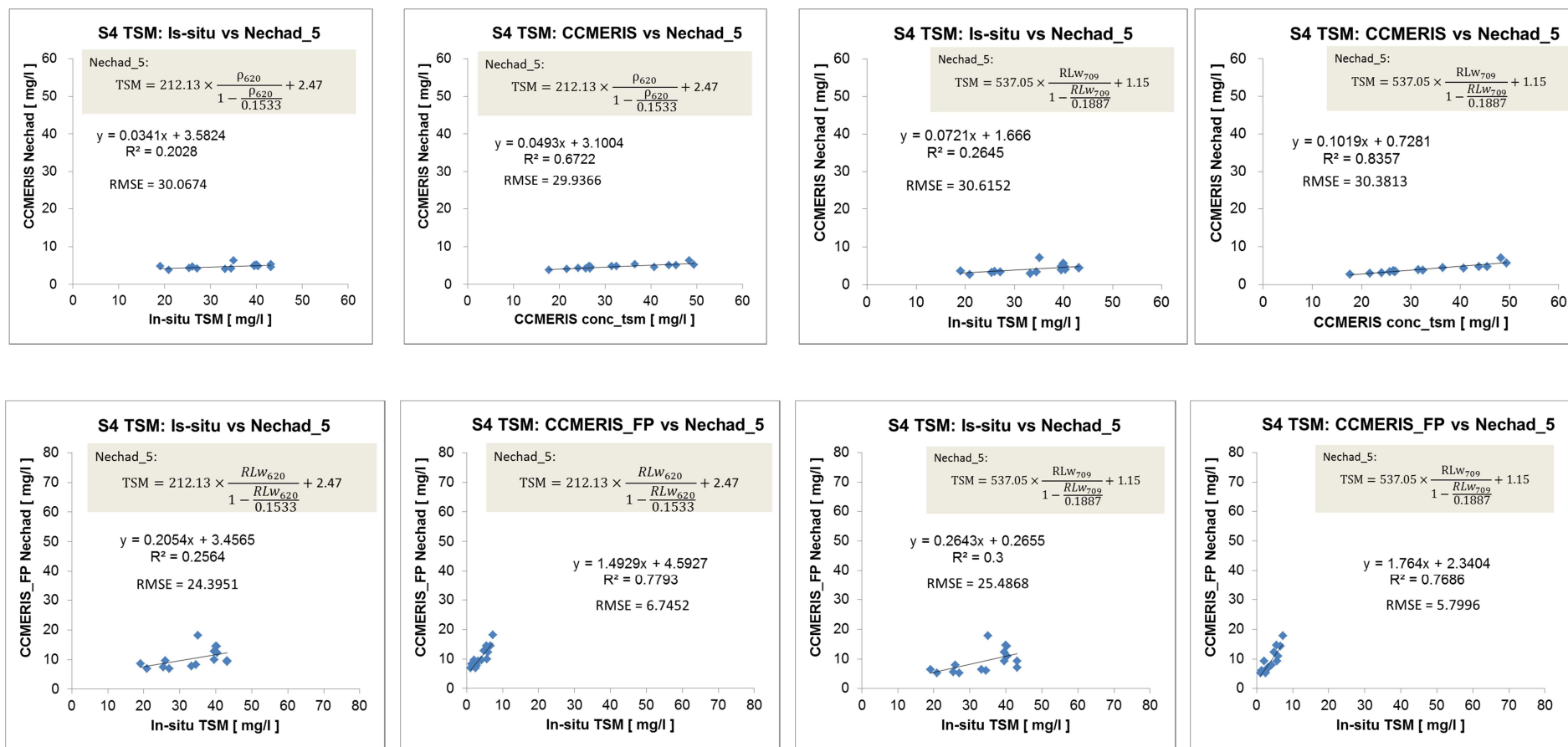


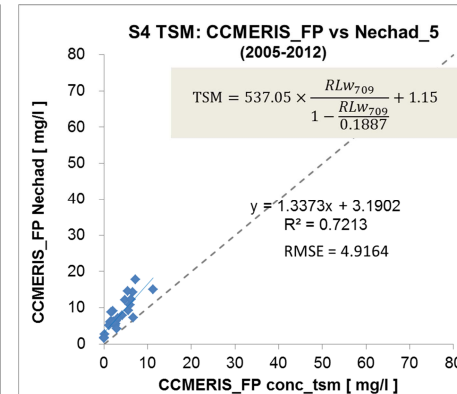
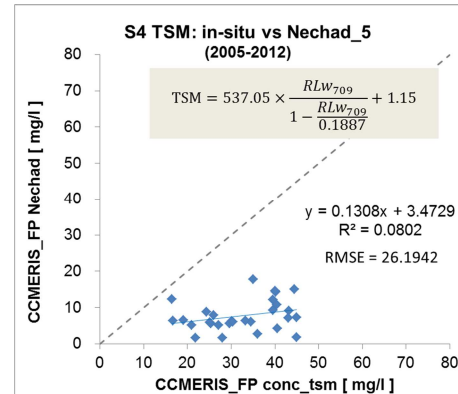
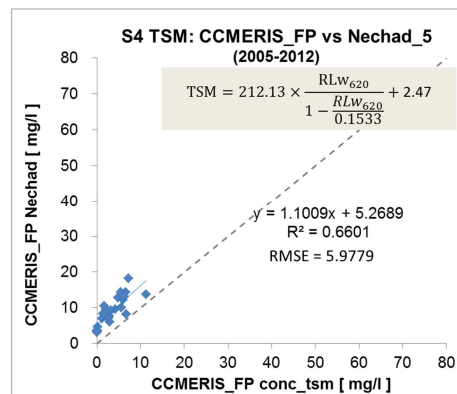
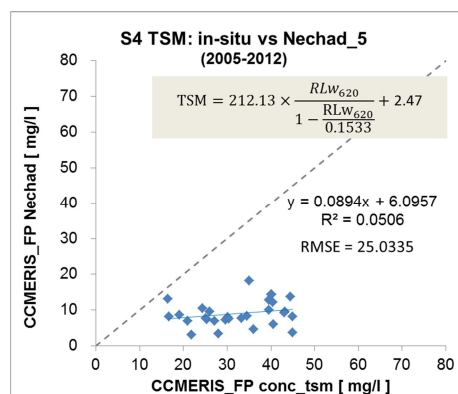
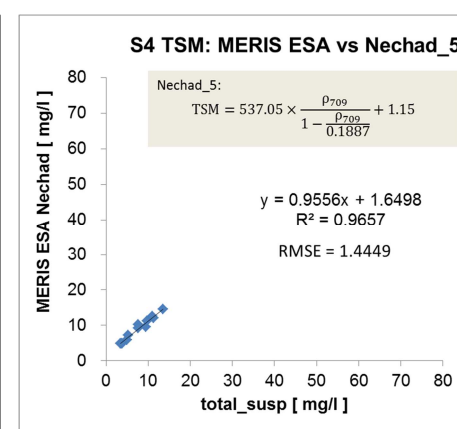
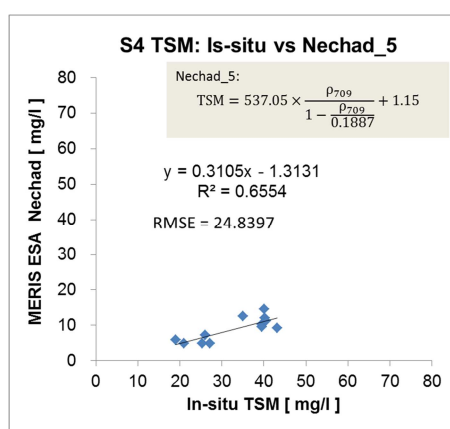
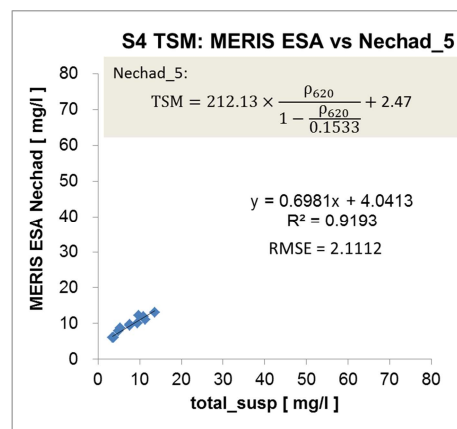
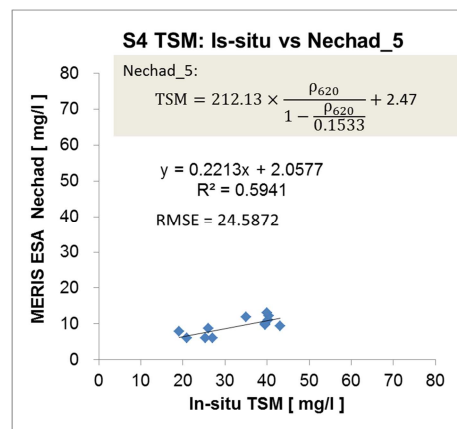


**Anexo F.2.** Resultados da aplicação dos algoritmos Nechad e Ruddick às refletâncias CCMERIS para determinação da concentração de TSM, em comparação com os dados *in-situ* e com os valores *matchups* de satélite (2005-2009): Nechad\_4.



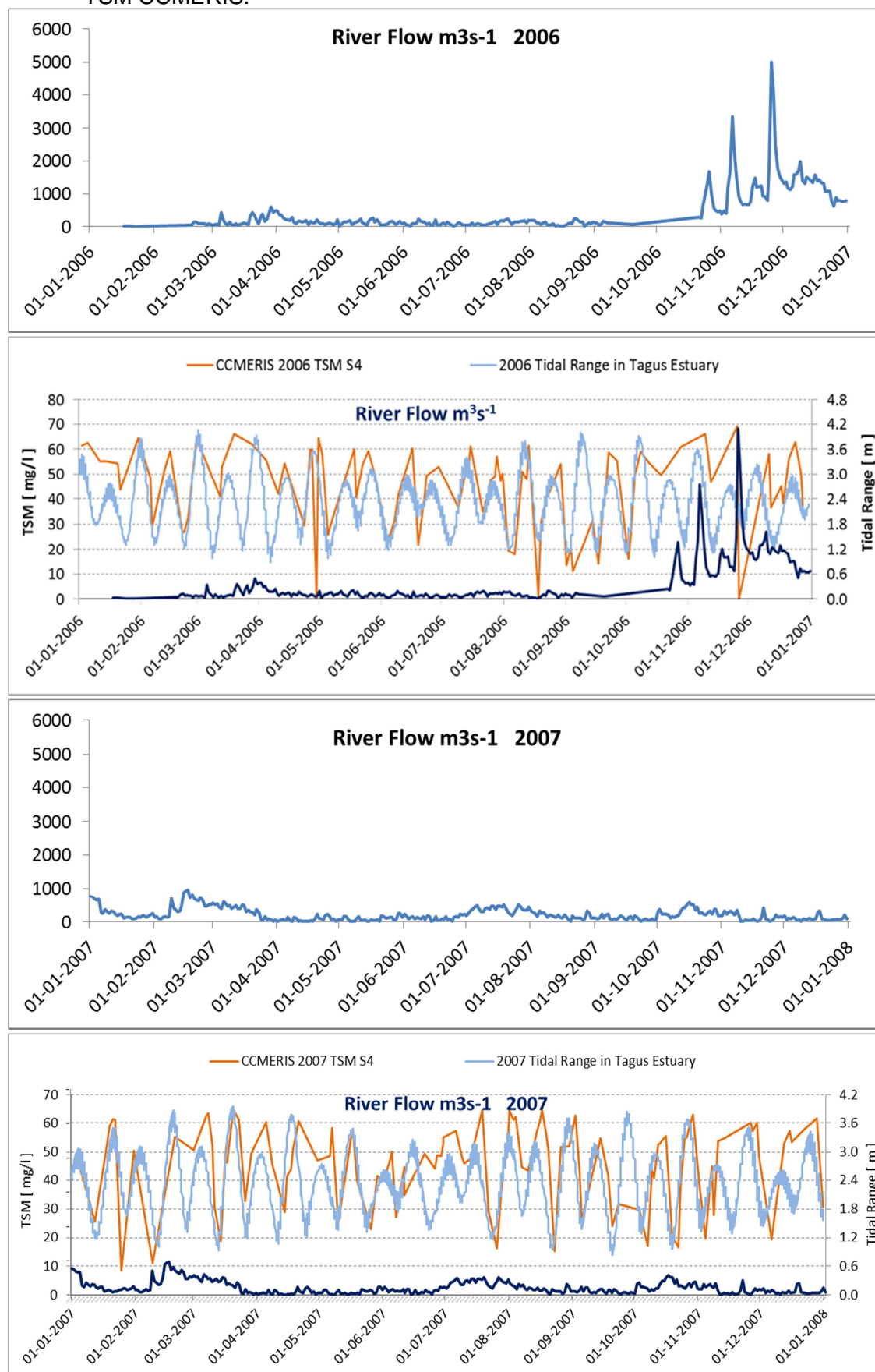
**Anexo F.3.** Resultados da aplicação dos algoritmos Nechad e Ruddick às refletâncias CCMERIS para determinação da concentração de TSM, em comparação com os dados *in-situ* e com os valores *matchups* de satélite (2005-2009): Nechad\_5.



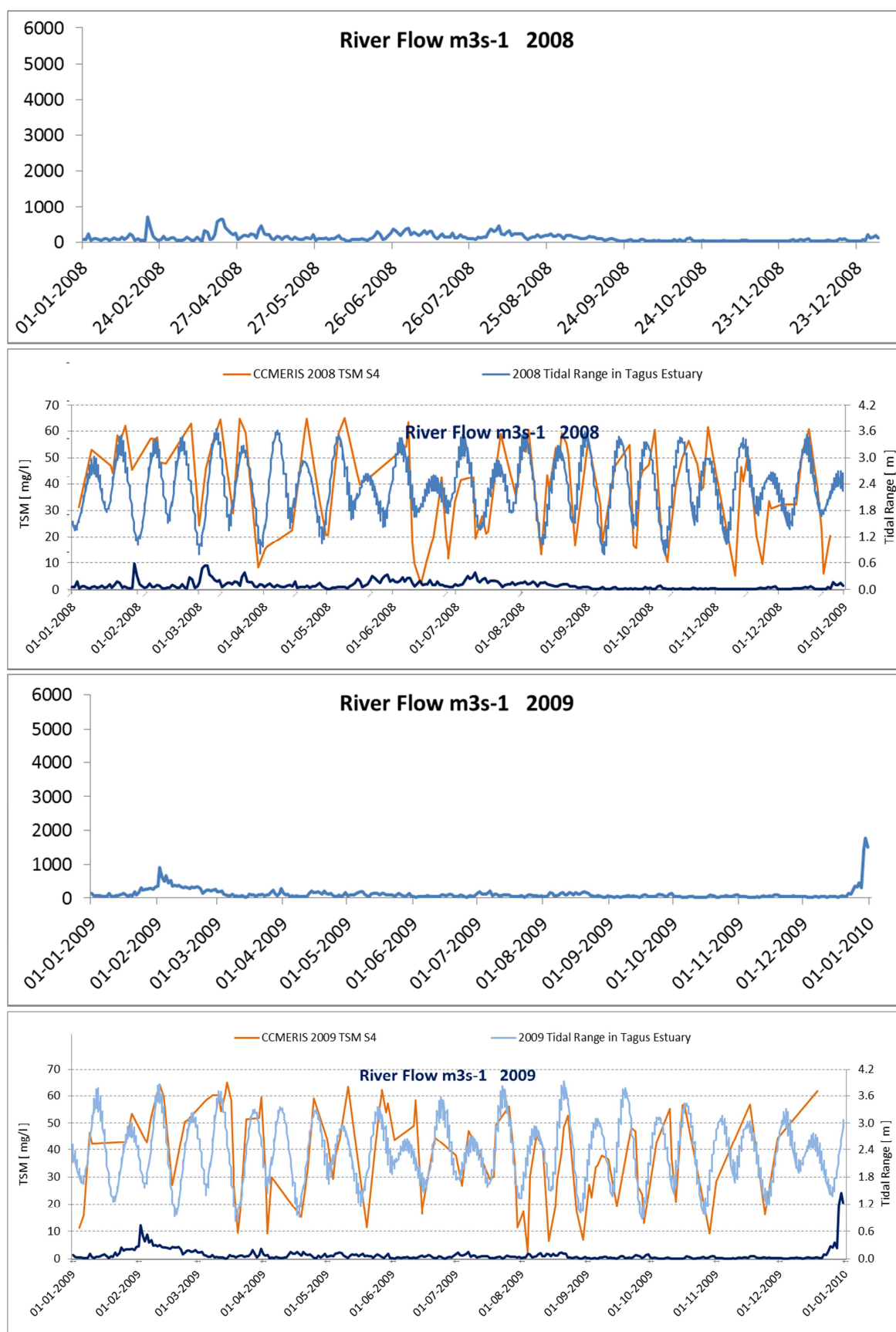




### Anexo G.1. Caudal do rio Tejo na estação de Almourol e sobreposição com os produtos de TSM CCMERIS.







[ *Documento terminado.* ]